**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Considerações sobre o manejo de irrigação na produtividade e qualidade de
gemas de cana-de-açúcar para viveiros de mudas-pré-brotadas (MPB)**

Eusímio Felisbino Fraga Júnior

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Engenharia de Sistemas
Agrícolas

**Piracicaba
2015**

Eusímio Felisbino Fraga Júnior
Engenheiro Agrônomo

**Considerações sobre o manejo de irrigação na produtividade e qualidade de gemas de
cana-de-açúcar para viveiros de mudas-pré-brotadas (MPB)**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **RUBENS DUARTE COELHO**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Engenharia de Sistemas
Agrícolas

**Piracicaba
2015**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP

Fraga Júnior, Eusímio Felisbino

Considerações sobre o manejo de irrigação na produtividade e qualidade de gemas de cana-de-açúcar para viveiros de mudas-pré-brotadas (MPB) / Eusímio Felisbino Fraga Júnior. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2015.

110 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Irrigação 2. *Saccharum* spp. 3. Produtividade da água 4. Colheita 5. Déficit hídrico
6. Plantio de cana 7. Canavial 8. TCH I. Título

CDD 633.61
F811c

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

Aos meus pais, Eusímio (in memoriam) e Irani Fraga, que são o alicerce da construção de minha vida pessoal e profissional, nunca medindo esforços para que me fosse disponibilizado o melhor possível no que se diz respeito à educação.

DEDICO

À minha esposa, Giovanna, estrela que irradia meus dias...

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus, Grande Arquiteto do Universo, por iluminar meu caminho, dando sua bênção em minhas decisões, orientando-me nos momentos difíceis.

À minha esposa Giovanna, pelo apoio, carinho e compreensão nos momentos de ausência, nas fases da pós-graduação.

Ao meu irmão Prof. Diego Fraga, pelo apoio e auxílio nos momentos difíceis e na formação do meu caráter.

Aos meus familiares, alicerces da minha vida, que direta e indiretamente contribuíram para esta conquista.

Em especial, ao meu orientador Prof. Rubens Duarte Coelho, por ter acreditado na minha carreira acadêmica, pelo exemplo de professor e pesquisador.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP e à Empresa Odebrecht Agroindustrial, que através do Projeto PITE 2012/50083-7 (BIOEN - Programa de Pesquisa FAPESP em Bioenergia) disponibilizaram os recursos e as informações necessárias para a realização deste projeto de pesquisa.

Aos amigos e companheiros de projeto, Fernando Barbosa, Daniel Leal, Lucas Santos, Timóteo Barros, Jonathan Lizcano e Marcos Amaral, pelo auxílio na condução do experimento e também pela amizade, pelos valores de companheirismo e trabalho em equipe, que sempre levarei junto comigo.

Aos estagiários de iniciação científica Liz e Vinícius, por todo suporte durante a execução do experimento.

Ao estagiário Ailson e estagiários do IF Goiano, atualmente colegas de pós-graduação Bruno e Nathália, que durante a realização do experimento, tanto me apoiaram.

Ao meu amigo e eterno orientador, Prof. André Luís Teixeira Fernandes, pelos anos de convivência, exemplo de determinação e garra, pela valiosa contribuição na minha formação e apoio à realização deste curso.

Ao Prof. Richard Leslie Snyder pela amizade, apoio, paciência e incentivo durante o período em que realizei doutorado sanduíche na University of California – UCDAVIS.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (USP), especialmente ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas, pela oportunidade de continuar a minha formação.

Aos professores do Departamento de Engenharia de Biossistemas, pela confiança, orientação e pelos ensinamentos.

A todos os funcionários do Departamento de Engenharia de Biossistemas, em especial aos que participaram diretamente da minha formação e na condução do experimento. Às secretárias Ângela, Beatriz, Davilmar e Paula, aos funcionários Afonso, Agnaldo, Sr. Antônio, Antônio (Gauchinho), Áureo, Ezequiel, Gilmar, Hélio, José Geraldo, Juarez, Luiz, Marinaldo e Paula, pela ajuda e companheirismo durante esse período.

Aos colegas do Instituto Federal do Triângulo Mineiro – IFTM/Campus Uberaba, instituição da qual fui discente por cinco anos (2003 a 2007) e onde tive a grata oportunidade de iniciar minha carreira docente (2011-2013). Registro meus sinceros agradecimentos a dois baluartes: Profs. Othon Carlos da Cruz e Antônio Carlos Barreto, exemplos de amizade e companheirismo, que levarei pra vida toda.

À FAZU e UNIUBE, instituições que contribuíram para minha formação inicial e onde pude vislumbrar os caminhos para aliar ensino, pesquisa e extensão.

Ao meu amigo, Lucas Melo Vellame, pelo companheirismo, pelas palavras e atitudes que influenciaram na formação do meu olhar científico.

Ao amigo Silvio Carlos Ribeiro Vieira Lima, presidente do Instituto de Pesquisa e Inovação na Agricultura Irrigada - INOVAGRI, pela amizade e apoio em minha formação acadêmica.

A todos meus amigos da pós-graduação, pelo carinho, amizade e apoio ao longo de todos esses anos de estudo juntos; são tantos, que ficaria difícil citá-los todos aqui. Em especial a Acácio Perboni, Adriano Diotto, Alexsandro Almeida, Ana L. Ferreira, Ana Paula Damasceno, André Herman, Bruno M. de Almeida, Bruno Patias Lena, César A. da Silva, Cícero Renê Jr., Conan A. Salvador, Cornélio Alberto Zolin, Danilton

Flumignan, Daniel S. Alves, Dinara G. Alves, Diego Brandão, Éder Duarte, Elenilson Moreira Franco, Everaldo M. da Silva, Ezequiel Saretta, Francisco Vilaça, Hermes S. da Rocha, Isaac Ponciano, Janaína Paulino, Jefferson Costa, Jefferson V. José, João Tolentino, João P. Francisco, Juliano A. Martins, Jussálvia, Leonardo L. Martins, Lígia Marinho, Livia P. da Silva, Lucas Melo Vellame, Marcos Amaral, Otávio Neto, Pedro Giongo, Rafael D.M. Fernandes, Rafael Maschio, Renato Moreira, Roberto Marano, Robson Mauri, Rodrigo A. Muniz, Vanessa Grah e Wagner Wolff.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Engenharia da Irrigação (INCTEI), pela disponibilização de técnicos e equipamentos para montagem e condução do experimento.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP e à ETH Bioenergia, pelos recursos financeiros necessários à realização deste projeto de pesquisa.

Por fim, agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste sonho.

A todos, muito obrigado!

“Se trabalhamos sobre o mármore, ele um dia acabará; se trabalhamos sobre o metal, um dia o tempo o apagará; se nós levantamos templos, eles um dia tornarão pó; mas se nós trabalharmos sobre almas jovens e imortais, certamente, nós gravaremos sobre elas algo que brilhará eternamente”

Rizzardo da Camino

SUMÁRIO

RESUMO	13
ABSTRACT	15
LISTA DE FIGURAS	17
LISTA DE TABELAS	19
1 INTRODUÇÃO	21
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
2.1 Histórico e panorama atual da cana-de-açúcar no Brasil	25
2.3 Fenologia da cana-de-açúcar	27
2.3.1 Brotação	28
2.3.2 Emergência	31
2.3.3 Perfilhamento e estabelecimento da cultura	34
2.4 Tipos de Plantio	36
2.4.1 Plantio Semimecanizado	36
2.4.2 Plantio Mecanizado	37
2.4.3. Sistema Plene de plantio	38
2.5 Mudas-pré-Brotadas (MPB) ou “Bud Chips”	40
2.6 Plantio de viveiros de cana-de-açúcar	43
3 MATERIAL E MÉTODOS	45
3.1 Considerações sobre o Experimento 1 e Experimento 2	45
3.1.1 Caracterização dos tratamentos do Experimento 1	46
3.1.1 Condução do Experimento 1	49
3.2 Localização e caracterização do Experimento 2	52
3.2 Delineamento experimental e tratamentos (Experimento 2)	53
3.3 Monitoramento climático	57
3.4 Plantio e condução das mudas	59
3.5 Análises das plantas	62
3.5.1 Pegamento das gemas (PEG)	62
3.5.2 Altura das plantas (ALT), diâmetro do caule (DIAM) e acúmulo de matéria seca na parte aérea (MS-PA)	63
3.5.3 Análise do sistema radicular (MS-R)	64
3.5.4 Estimativa do número de gemas viáveis por hectare (GVH)	64
3.5.5 Produtividade da água para gemas de cana-de-açúcar	64

3.5.6 Análise econômica de viveiros de mudas de cana-de-açúcar irrigados por gotejamento nas diferentes estratégias de lâminas de irrigação estudadas	65
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO (Experimento 2).....	69
4.1 Dados Meteorológicos	69
4.2. Respostas biométricas no desenvolvimento inicial de mudas de cana-de-açúcar	71
4.2.1 Pegamento das gemas de cana-de-açúcar	73
4.2.2 Altura das mudas de cana-de-açúcar.....	75
4.2.3 Matéria Seca da Parte Aérea (MS-PA) e Matéria Seca da Raiz (MS-R) de mudas de cana-de-açúcar	77
4.3 Número de gemas viáveis por hectare (GVH)	81
4.3.1 Número de perfilhos vivos (Experimento 1).....	82
4.3.2 Estimativa do número de gemas viáveis de cana-de-açúcar por hectare (NGV).....	85
4.4 Produtividade da água para gemas viáveis de cana-de-açúcar	88
4.5 Análise de custos em viveiro de mudas de cana-de-açúcar irrigado.....	89
5 CONCLUSÕES	93
REFERÊNCIAS	95
APÊNDICES.....	99

RESUMO

Considerações sobre o manejo de irrigação na produtividade e qualidade de gemas de cana-de-açúcar para viveiros de mudas-pré-brotadas (MPB)

O cultivo da cana-de-açúcar depara-se com a falta de tecnologias alternativas inovadoras para impulsionar sua produtividade diante dos crescentes custos de mão de obra e insumos, tornando-se essencial aumentar a produtividade da cana de forma sustentável. A cana-de-açúcar é comercialmente plantada, utilizando-se cortes de toletes ou gemas. Este método de cultivo está se tornando gradualmente antieconômico, devido ao elevado custo das “áreas de viveiros” usadas para a renovação de canaviais, que demandam mais de 20 por cento do custo total de produção para renovação/novos plantios. Dessa forma, necessita-se de métodos alternativos de plantio, que impulsionem a produtividade da cana-de-açúcar sobre princípios de um planejamento adequado; entre outras práticas, devem estar inclusas a formação de viveiros sadios, com otimização de áreas destinadas à multiplicação de mudas e também a escolha das melhores opções entre os materiais genéticos para a formação do canavial. Este trabalho baseia-se na hipótese de que, para viveiros de cana-de-açúcar, exista uma combinação mais adequada entre a lâmina de irrigação/intensidade do déficit hídrico e a posição da gema ao longo do colmo; desta forma, aumenta-se a produtividade de gemas de cana-de-açúcar, que serão utilizadas no plantio do sistema de mudas-pré-brotadas (MPB). O objetivo deste trabalho foi avaliar, no que se refere ao viveiro de mudas, o efeito de quatro lâminas de irrigação, quatro intensidades de déficit hídrico na fase de maturação, quatro posições ao longo do colmo para oito variedades de cana-de-açúcar irrigadas por gotejamento, assim como também a produtividade por área e os custos de produção de gemas viáveis de cana-de-açúcar. O experimento foi conduzido no município de Piracicaba – SP, no Departamento de Engenharia de Biosistemas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), em ambiente protegido (estufa). O delineamento experimental adotado foi em blocos inteiramente aleatorizados, com três blocos completos. Os tratamentos foram distribuídos em esquema fatorial (4x4x4x8), totalizando-se assim 511 tratamentos e 1536 parcelas experimentais. Os tratamentos testados foram: lâmina de irrigação ao longo do ciclo, com quatro níveis (Lâmina); intensidade do déficit hídrico na fase final do ciclo para maturação da cana-de-açúcar, com quatro estratégias de restrição hídrica (Maturação); posição da gema ao longo do comprimento do colmo, com quatro posições (Posição); e variedade comercial de cana-de-açúcar, com oito variedades (Variedade). Considerando-se que o presente estudo foi desenvolvido através de irrigação por gotejamento de alta frequência sob irrigação plena e irrigação com déficit, pode-se concluir que: a) a lâmina de irrigação que repõe o total de água requerido com alta frequência (L100) promove um aumento médio de 42% no total de gemas viáveis produzidas por hectare, comparado com o fornecimento de metade da lâmina de irrigação requerida (L50); b) as gemas localizadas no segundo quarto do dossel da touceira tem maior capacidade de pegamento, bem como as próximas do ápice; c) a adoção de déficit hídrico na fase pré-colheita (estratégias de maturação) em condições de irrigação plena (L100) podem reduzir em média 11% o número de gemas viáveis por hectare; d) a produtividade da água para gemas de cana-de-açúcar (2,88 à 3,17 litros gema⁻¹) não tem relação com a lâmina de irrigação ou a estratégia de maturação adotada, sendo influenciada somente pelo material genético utilizado (variedade); e) as estratégias de restrição do volume de água aplicado (L50, L75 e L125) oneram em até 51% os custos de produção para cada gema viável produzida, comparado à irrigação plena (L100).

Palavras-chave: Irrigação; *Saccharum* spp.; Produtividade da água; Colheita; Déficit hídrico; Plantio de cana; Canavial, TCH (produção de colmos por hectare)

ABSTRACT

Water management considerations on productivity and quality of sugarcane seedlings to the formation of bud chips nursery

Sugarcane crop is facing a difficult road ahead due the rising input and labor costs and the lack of innovative alternative technologies to boost productivity. Thus, it is essential not only increase the productivity of sugarcane, but also keep it in a sustainable way, had conserving limited resources throughout time. To accomplish this, there is a strong necessity to use alternative methods of production to boost sugarcane productivity on the principles of "more with less". More than ever, the answer refers to proper planning, which includes among other practices, the formation of healthy nursery, with definable areas intended to multiplication of seedlings and the choice of the best options among the available materials for the formation of cane field. Sugarcane is cultivated using cuts of stalks or bud chips and this cultivation method is gradually becoming uneconomical due the cost of "nurseries areas" used for renew old areas, requiring more than 20 percent of the total production cost for renovation/new plantings. This work has the hypothesis that for sugarcane, there is a better combination of water depth / intensity of water stress and bud chip position along the stem, in order to maximize the fixation / development of buds. The objective is evaluate the effect of four irrigation levels, four water stress intensities in the maturation phase, four positions along the stem, for eight varieties of sugarcane submitted to drip irrigation, analyzing the related variables quality seedlings (productivity and cost of viable buds of sugarcane). The experiment was conducted in Piracicaba - SP, in the research area of the Department of Biosystems Engineering of the College of Agriculture "Luiz de Queiroz" (ESALQ / USP), in a protected environment (greenhouse). The experimental design was completely randomized blocks, with 3 complete blocks. The treatments were arranged in a factorial design (4x4x4x8), totaling 511 treatments and 1536 experimental plots. The treatments were: water depth during the cycle with 4 levels (Water depths); commercial variety of cane sugar, with 8 varieties (Variety), intensity of water deficit in the final phase of the maturation of sugarcane, 4 water restriction strategies (maturation); and bud chip position along the stem length, 4 position (position). Considering the conditions in which this study was developed: drip irrigation high frequency under full irrigation and irrigation deficit, it can be concluded that: a) The water depth that returned the total water required in high frequency (L100) promotes an average of 42% increase in total viable bud chips produced per hectare, compared with when it was supplied half of the required water depth (L50); b) Bud chips located in the second part of the canopy has a higher fixation capacity, as well as the buds located at the top; c) The adoption of water deficit in the pre-harvest phase (maturity strategies) in full irrigation conditions (L100) can reduce an average of 11% the number of viable buds per hectare; d) The water productivity of sugarcane bud chip (2,88 à 3,17 litros gema⁻¹) has no relation to the water depth or adopted maturation strategy, being influenced by the used genetic material (variety); e) The restriction water strategies applied (L50, L75 and L125) can increase up to 51% of the costs for each viable bud produced compared to full irrigation (L100).

Keywords: Irrigation; *Saccharum* spp.; Productivity of water; Harvest; Water deficit; Sugarcane seedlings; Sugarcane crop; Yield of stalk

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fases fenológicas da cana-de-açúcar.	27
Fonte: Adaptado de Gascho e Shih (1983 apud CÂMARA, 1993).....	27
Figura 2 - Colmo da cana-de-açúcar (Fonte: Adaptado Bacchi, 1983).	29
Figura 3 - Tipos de nós e internódios (Fonte: Adaptado Artschwager & Brandes, 1958).	30
Figura 4 – Tipos e formas de gemas de cana-de-açúcar.....	31
Figura 5 – Modelo convencional de plantio de cana-de-açúcar	37
Figura 6 – Distribuidora de colmos mecanizada de cana-de-açúcar	38
Figura 7 – Tecnologia de plantio de micro-rebolos mecanicamente.....	39
Figura 8 – Modelo de produção de mudas de cana-de-açúcar para plantio de plantas “pré-brotadas”	41
Figura 9 - Localização e imagem frontal da estufa instalada no Departamento de Engenharia de Biosistemas da ESALQ. (Fonte: BARBOSA, 2015)	46
Figura 10 - Representação gráfica das frações das lâminas aplicadas durante a fase inicial de desenvolvimento e de crescimento dos colmos. * A lâmina referência é a lâmina do tratamento L100 de cada variedade. Adaptado BARBOSA (2015).....	47
Figura 11 - Representação gráfica das frações das lâminas aplicadas durante a fase de maturação para os tratamentos M1, M2, M3 e M4. * A lâmina referência é a lâmina do tratamento L100 de cada variedade. Adaptado BARBOSA (2015).....	49
Figura 12 - Detalhes da montagem do sistema de irrigação. Linha de gotejo posicionada centralmente nas parcelas (A); Microrregistro instalado no painel de controle (B); Vista geral do painel de controle com 396 microrregistros (C); Vista geral da saída dos microtubos na estufa experimental para conexão com a linha de gotejo das parcelas (D). Ilustração do posicionamento final das mudas dentro das parcelas (E); Vista geral da estufa no momento da irrigação realizada após o transplântio de todas as mudas (F). Adaptado BARBOSA (2015).	50
Figura 13 - Croqui da distribuição dos tratamentos pelo delineamento em blocos inteiramente aleatorizados com parcelas sub-subdivididas (split-split-plot) do experimento precursor – Experimento 1. Adaptado BARBOSA (2015).	51
Figura 14 - Localização e vista externa do experimento	52
Figura 15 - Unidade Experimental para cada maturação estudada	54
Figura 16 - Ilustração da divisão das gemas em posições em relação ao nível do solo	55
Figura 17 - Croqui do experimento – Detalhamento dos fatores estudados.....	56

Figura 18 - Estação meteorológica no interior da casa de vegetação	57
Figura 19 - Sistema de irrigação por microaspersão. Vista geral das linhas laterais acima do dossel das plantas (A); Detalhe do microaspersor (B). Plantas controle irrigadas por imersão (C) para quantificação do consumo hídrico por variedade por meio de pesagem (D).....	60
Figura 20 – Feixes para o transporte dos colmos com identificação das variedades (A); Colmos após a retirada das folhas e bainhas (B); Guilhotina utilizada para o corte do minitolete (C); Detalhe do minitolete utilizado para o plantio (D); Preenchimento das bandejas com substrato (E); Plantio das gemas nas parcelas experimentais (F).	61
Figura 21 – Contagem do número de gemas brotadas (A); Caracterização visual de brotação (B); Detalhe para variação de época de brotação entre parcelas (bandejas) (C).....	62
Figura 22 – Detalhe posicionamento de haste para medida de altura de plantas (A); Posicionamento da folha junto à haste de leitura (B); Aspecto visual das parcelas após 30 dias de plantio (C e D).....	63
Figura 23 - Comportamento diário das variáveis meteorológicas; temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin), temperatura média (Tmed), umidade relativa máxima (URmax), umidade relativa mínima (URmin), umidade relativa média (URmed), radiação solar (Qg) e evapotranspiração de referência estimada (ETo).....	70
Figura 24 - Altura de mudas de gemas de cana-de-açúcar em relação às oito variedades estudadas	76
Figura 25 - Gráfico box-plot para umidade do colmo para as 8 variedades estudadas dentro de cada tratamento de lâmina.....	81
Figura 26 - Gráfico box-plot para produtividade de colmos por hectare para as 8 variedades estudadas dentro de cada tratamento de lâmina	82
Figura 27 - Gráfico box-plot para o número de gemas viáveis de cana-de-açúcar por hectare para as 8 variedades estudadas dentro de cada tratamento de lâmina.....	87
Figura 28 – Custo total anual por hectare de cana-de-açúcar nos cenários estudados (R\$ ha ⁻¹)	90
Figura 29 - Custo total anual por tonelada de cana-de-açúcar cultivada para os cenários estudados (R\$ ha ⁻¹).....	91
Figura 30 – Receita Bruta para os cenários estudados de cultivo de cana-de-açúcar (R\$ ha ⁻¹)	91
Figura 31 – Custo unitário de gemas viáveis de cana-de-açúcar para os cenários estudados (R\$ gema ⁻¹)	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valor da produção de cana-de-açúcar e outras lavouras em 2013.....	25
Tabela 2 - Número de gemas/m ³ em função do diâmetro e comprimento de internódios de colmos de cana-de-açúcar.....	42
Tabela 3 – Demanda de colmos para plantio de cana-de-açúcar em diferentes formas de plantio	44
Tabela 4 - Volume total de irrigação aplicado (mm) por parcela para todos os tratamentos (aproximadamente 1,01 m ² parcela ⁻¹).....	47
Tabela 5 - Esquema de distribuição dos graus de liberdade (G.L.) para as fontes de variação (F.V.), de acordo com o delineamento experimental e o arranjo de distribuição dos tratamentos.	53
Tabela 7 - Custo de Produção de cana-de-açúcar para o Estado de Goiás considerando a estimativa para a safra 2014-2015	66
Tabela 8 - Resumo da análise de variância referente às variáveis biométricas de mudas de cana-de-açúcar submetidas aos tratamentos testados	72
Tabela 9 - Análise de médias da porcentagem de pegamento de gemas de cana-de-açúcar aos 30 DAP para os diferentes fatores estudados	73
Tabela 10 - Análise de médias da porcentagem de pegamento de gemas de gemas de cana-de-açúcar em função das variedades e da lâmina de irrigação estudadas.....	74
Tabela 11 - Análise de médias de altura de mudas de cana-de-açúcar aos 30 DAP para os diferentes fatores estudados.....	75
Tabela 12 - Análise de médias de altura de mudas de gemas de cana-de-açúcar em função das maturações e variedades estudadas.....	76
Tabela 13 - Análise de médias da altura de mudas de gemas de cana-de-açúcar em função das maturações e lâminas de irrigação estudadas	77
Tabela 14 - Análise de médias da altura de mudas de gemas de cana-de-açúcar em função das maturações e posições das gemas estudadas	77
Tabela 15 - Análise de médias de Matéria Seca da Parte Aérea (MS-PA) e Matéria Seca da Raiz (MS-R) de mudas de cana-de-açúcar aos 30 DAP para os diferentes fatores estudados .	78
Tabela 16 - Análise de médias da massa seca da parte aérea (MS-PA) para mudas de cana-de-açúcar em função das maturações e lâminas de irrigação estudadas.....	79
Tabela 17 - Análise de médias do massa seca da parte aérea (MS-PA) para mudas de cana-de-açúcar em função das maturações e lâminas de irrigação estudadas.....	79

Tabela 18 - Análise de médias para massa seca da raiz (MS-R) para mudas de cana-de-açúcar em função das maturações e variedades estudadas	80
Tabela 19 - Análise de médias para massa seca da raiz (MS-R) para mudas de cana-de-açúcar em função das variedades e lâminas de irrigação estudadas.....	80
Tabela 20 - Resumo da análise de variância referente ao número de perfilhos vivos de cana-de-açúcar	83
Tabela 21 - Análise de médias do número de perfilhos vivos de cana-de-açúcar para os diferentes fatores estudados	84
Tabela 22 - Análise de médias do número de perfilhos vivos de cana-de-açúcar em função das variedades e lâminas de irrigação estudadas	84
Tabela 23 - Resumo da análise de variância referente à produção de gemas viáveis de cana-de-açúcar por hectare em relação aos tratamentos testados	85
Tabela 24 - Análise de médias de gemas viáveis gemas viáveis de cana-de-açúcar por hectare para os diferentes fatores estudados.....	86
Tabela 25 - Análise de médias para o número de gemas viáveis de cana-de-açúcar por hectare (NGV) em função das maturações e lâminas de irrigação estudadas	87
Tabela 26 - Resumo da análise de variância referente à produtividade da água para gemas viáveis de cana-de-açúcar em relação aos tratamentos testados	88
Tabela 27 - Análise de médias de produtividade da água gemas viáveis de cana-de-açúcar para os diferentes fatores estudados.....	89
Tabela 28 - Análise de custos em viveiro de mudas de cana-de-açúcar irrigado por gotejamento nas diferentes estratégias de lâminas de irrigação estudadas	89

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o Brasil se destaca como o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, tendo como pontos primordiais a qualidade de matéria-prima, níveis de produtividade de seus canaviais e competitivos custos de produção. Esta cultura é responsável por uma significativa parte do produto interno bruto brasileiro, possibilitando o uso de uma fonte de energia renovável, gerando divisas com a exportação de açúcar e álcool, além de ser uma atividade que gera postos de trabalho.

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp. Híbrido) é uma gramínea de grande porte, de ambiente tropical ou subtropical de grande dimensão em uma zona ao redor do mundo, dentro de 30°N e S do Equador. É vegetativamente propagada a partir de gemas axilares da haste (ou caule). A primeira safra (cana-planta) é colhida geralmente entre 12-24 meses após o plantio. Posteriormente safras "socas" podem ser colhidas em um intervalo mais curto, em períodos com as mesmas condições. As soqueiras podem ser conduzidas de um até vários ciclos.

No mundo, cerca de 75% do açúcar (sacarose) é produzido a partir de cana-de-açúcar e outros 25%, a partir de beterraba. Diversos subprodutos são oriundos da produção de cana-de-açúcar, tais como suplemento para animais, componente de antibióticos, de partículas (bioplásticos), bio-fertilizantes e matéria-prima para a geração de eletricidade. Além destes, desde a década de 1970, a cana-de-açúcar tem surgido como material base para a produção de bio-etanol.

O cultivo da cana está enfrentando um difícil momento devido aos crescentes custos de insumos, trabalhistas e a falta de tecnologias alternativas e inovadoras para impulsionar sua produtividade; Torna-se essencial aumentar a produtividade da cana de forma sustentável, conservando os recursos escassos ao longo do tempo. Para alcançar este objetivo, surge a necessidade do uso de métodos alternativos de produção de cana, que impulsionem sua produtividade dentro dos princípios de "mais com menos".

A resposta remete a um planejamento adequado, que inclua, entre outras práticas, a formação de viveiros saudáveis, com a definição de áreas destinadas à multiplicação de mudas e a escolha das melhores opções entre os materiais disponíveis para a formação do canavial.

A cana-de-açúcar é comercialmente plantada, utilizando-se cortes de toletes ou gemas, sendo que este método de cultivo está gradualmente tornando-se antieconômico com o custo das "Áreas de Viveiros" usado para o replantio; estes demandam mais de 20 por cento do custo total de produção para renovação/novos plantios.

No sistema convencional de plantio (plantio manual), cerca de 6-8 toneladas de cana semente/ha (cerca de 10% do produto total) são utilizadas como material de plantio, que é compreendido por haste (toletes) de cerca de 25-30 cm com 2-3 gemas, destacando-se que os colmos maduros contêm entre 17-20% de sacarose no caldo da cana.

Esta grande massa de material de plantio representa problema nos transportes, movimentação e armazenagem de semente de cana-de-açúcar, que sofre rápida deterioração, reduzindo a viabilidade de gemas plantadas posteriormente. Uma alternativa para reduzir a massa demandada e melhorar a qualidade da cana-planta seria plantar gemas de colmos pré-germinadas, popularmente conhecido como sistema MPB – mudas-pré-brotadas ou “*bud chips*”. Essas gemas são menos volumosas, facilmente transportáveis, tornando o material mais econômico. Além disso, esta tecnologia é uma grande promessa na multiplicação rápida de novas variedades de cana-de-açúcar.

Embora o sucesso desta técnica tenha sido relatado no passado, não houve qualquer esforço para implementar este método, nem qualquer tentativa de desenvolvê-lo em uma escala maior. Desta forma, a oportunidade de produzir mudas em viveiros como uma atividade de geração de renda na área rural também foi amplamente negligenciada.

Existem limitações na tecnologia “*bud chips*”, principalmente devido à baixa sobrevivência em condições de campo. O material-semente “*bud chip*” tem baixa reserva (1,2-1,8 g de açúcares / gema) em relação ao convencional, que utiliza três gemas por tolete (6,0-8,0 g de açúcares / tolete). As reservas de umidade e açúcares de uma gema esgotam-se num ritmo mais rápido em comparação as duas ou três gemas/tolete (plantio convencional), refletindo em sua brotação e crescimento inicial. Visando o benefício econômico, é necessário conhecer as características ideais da gema de cana, considerando um armazenamento de longa duração, o tratamento térmico, a capacidade de armazenamento, a produção de mudas e o seu estabelecimento no campo.

Este trabalho baseia-se na hipótese de que, para viveiros de cana-de-açúcar, exista uma combinação mais adequada entre a lâmina de irrigação/intensidade do déficit hídrico e a posição da gema ao longo do colmo a ser destinada para formação de mudas, de modo a maximizar o pegamento/desenvolvimento de propágulos (gemas) de cana de açúcar. Desta forma, seria possível inferir sobre a viabilidade econômica da irrigação em viveiros de cana-de-açúcar, considerando as tecnologias existentes no plantio desta cultura (plantio convencional, cultura de tecidos e mudas-pré-brotadas).

O objetivo deste trabalho foi avaliar, no que se refere ao viveiro de mudas, o efeito de quatro lâminas de irrigação, quatro intensidades de déficit hídrico na fase de maturação, quatro posições ao longo do colmo, para oito variedades de cana-de-açúcar irrigadas por gotejamento, na produtividade e nos custos de produção gemas viáveis de cana-de-açúcar.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Histórico e panorama atual da cana-de-açúcar no Brasil

A produção total de cana-de-açúcar no Brasil foi realizada em uma área de 10.195.166 hectares, conforme dados do ano de 2013 (IBGE, 2014), sendo que mais da metade da área plantada se encontra no estado de São Paulo. Estima-se que a área total cultivada com cana-de-açúcar no Brasil possa atingir até 22 milhões de hectares, limitação embasada em aspectos regulatórios, climáticos e por aptidão de solos e não por competição do uso do solo com outras culturas agrícolas (NEVES; CONEJERO, 2009).

São Paulo é o estado com maior área plantada e foi responsável por mais de 60% da cana-de-açúcar processada pelas usinas brasileiras na safra 2012/2013 (UNICA, 2014). A Tabela 1 apresenta o valor da produção agrícola total e o valor da produção de cana-de-açúcar no Brasil e no estado de São Paulo em 2013, merecendo destaque a relevância desta cultura para o estado de São Paulo.

Tabela 1 – Valor da produção de cana-de-açúcar e outras lavouras em 2013

Região e Produto	Mil R\$
Brasil	
Cana-de-Açúcar.....	42.946.610
Lavouras permanentes e temporárias.....	232.468.993
Estado de São Paulo	
Cana-de-Açúcar.....	23.084.234
Lavouras permanentes e temporárias.....	30.206.624

Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Agropecuária, Produção Agrícola Municipal 2013.

Para a safra 2013/14, segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento, expandiu-se em 3,7% em relação a 2012/13, num acréscimo de 314 mil hectares especialmente na região centro-sul.

2.2 Aspectos agronômicos da cana-de-açúcar

Pertencente à família Poaceae, a cana-de-açúcar é originária de Nova Guiné e atualmente é cultivada em uma ampla faixa de latitude, desde cerca de 35° N a 30° S, sob condições de altitudes variadas (desde o nível do mar até 1000 metros). O período de

crescimento vegetativo da cultura é bastante variável: 9 a 10 meses nos EUA e até dois anos no Peru, África do Sul e Havaí (SEGATO et al., 2006; JAMES, 2004; AUDE, 1993).

A cana-de-açúcar desenvolve-se na forma de touceira, composta na parte aérea de colmos, folhas, inflorescências e frutos. Abaixo da superfície do solo é formada por raízes e rizomas, que são responsáveis pela formação dos perfilhos na touceira (SEGATO et al., 2006).

Na composição tecnológica dos colmos, a cana-de-açúcar é composta por cerca de 10 a 16% de fibra. Da outra parte (caldo), 75 a 82% é água e o restante é denominado de sólidos solúveis, destacando-se os açúcares (sacarose, glicose e frutose) e não açúcares (orgânicos: aminoácidos, gorduras, ceras e pigmentos, além de componentes não orgânicos: SiO_2 , CaO , MgO , Cl e K_2O) (CESAR; SILVA, 1993).

De acordo com Blackburn (1984), o crescimento da cana é facilitado quando a temperatura ultrapassa 20°C , havendo um incremento na taxa de crescimento da cultura, sendo que a faixa de 25°C a 33°C é a mais favorável ao desenvolvimento vegetativo. Abaixo de 19°C , o processo de brotação é afetado significativamente, não ocorrendo crescimento vegetativo (AUDE, 1993) e temperaturas menores que 10°C são lesivas às brotações (CAMARGO, 1968; CAMARA, 1993).

Ao longo de todo o ciclo, a cultura é influenciada por variáveis climáticas, sendo a temperatura ambiente e a precipitação pluvial os principais fatores para um bom desenvolvimento da cultura (BRUNINI, 2010). O ciclo fenológico da cana-de-açúcar completa-se em aproximadamente 11 a 22 meses e a cultura precisa de um período quente e úmido para brotar, emergir, perfilhar e outro relativamente seco e/ou frio, para acumular sacarose (maturação).

A produtividade da cana-de-açúcar em um ambiente com déficit hídrico pode ser aumentada com a utilização da irrigação, com objetivo de suprir as necessidades hídricas da cultura. Assim, o potencial da produtividade média da cultura pode ser medido através dos ambientes de produção caracterizado por interações entre as condições físico-hídricas, morfológicas, químicas e mineralógicas de superfície e sub-superfície dos solos com as condições climáticas (precipitação, temperatura, radiação solar e evaporação) (PRADO, 2011).

De acordo com Prado et al. (2010), a água é importante em um ambiente de produção, pois quando limitante, mesmo em solos férteis, pode reduzir a produtividade da cana-de-açúcar e por outro lado, quando adequada, altera o ambiente de produção positivamente até

mesmo nos solos com baixo potencial químico. Além disso, a irrigação pode reduzir ou anular a deficiência hídrica anual, aumentando a produtividade e a longevidade da planta.

2.3 Fenologia da cana-de-açúcar

A fenologia está embasada no conhecimento do comportamento da cana-de-açúcar quanto às diversas fases do período vegetativo das plantas, podendo ser uma ferramenta para auxiliar na escolha das práticas culturais. Para a cana-de-açúcar, existem quatro estádios, (Figura 1), conhecidos por: Brotação e Emergência dos brotos (colmos primários); Perfilhamento e Estabelecimento da cultura (da emergência dos brotos ao final do perfilhamento); Período do Grande Crescimento (do perfilhamento final ao início de acumulação da sacarose), e Maturação (intensa acumulação de sacarose nos colmos) (GASCHO; SHIH, 1983).

Figura 1 - Fases fenológicas da cana-de-açúcar.

Fonte: Adaptado de Gascho e Shih (1983 apud CÂMARA, 1993).

Ainda, segundo Gascho e Shih (1983), estas fases podem ser divididas da seguinte forma:

Brotação e emergência: sob condições ambientais favoráveis, principalmente temperatura e umidade, iniciam-se as atividades meristemáticas, promovendo o desenvolvimento das raízes do tolete e a emergência de um pequeno broto.

Perfilhamento e estabelecimento da cultura: após a emergência, as gemas localizadas na base do colmo primário se intumescem, observando novos brotos. Novas raízes são formadas, à medida que os colmos se desenvolvem. Devido à competição existente pelos fatores limitantes do meio, esta fase é cessada.

Crescimento dos colmos: as hastes sobreviventes continuam o seu crescimento e desenvolvimento, ganhando altura e iniciando o acúmulo de açúcares, da base para o ápice do colmo. Nesta fase, as folhas mais velhas iniciam o processo de senescência e o sistema radicular atinge um bom nível de desenvolvido, tanto nas laterais quanto em profundidade.

Maturação dos colmos: a maturação inicia-se junto com o crescimento intenso dos colmos sobreviventes do perfilhamento das touceiras. À medida que vão amadurecendo, os colmos continuam o seu crescimento e desenvolvimento, acumulando cada vez mais sacarose em seus internódios. Ao atingir o seu tamanho final, constituem-se colmos industrializáveis, passando a acumular mais intensamente a sacarose produzida pela fotossíntese (11 a 20 meses após o plantio).

A primeira fase, descrita como brotação e emergência, encontra-se subdividida nos itens abaixo.

2.3.1 Brotação

A formação de canaviais geralmente é feita utilizando-se pedaços de colmo, contendo uma ou mais gemas. Desta forma, a brotação das gemas na cana-de-açúcar é um dos processos que requer atenção, pois neste processo é definida a população de plantas no campo (PLANA et al., 1987).

Havendo disponibilidade hídrica no solo, o propágulo inicia o processo de ativação das enzimas e hormônios que controlam a divisão e o crescimento celular, tanto da gema como dos pontos dos primórdios das raízes na zona radicular (CASAGRANDE; VASCONCELOS, 2010).

Assim como emergência de sementes, a brotação é um processo biológico que consome energia, provinda da degradação de substâncias de reserva do colmo, por meio do processo de respiração (SEGATO et al., 2006).

As gemas são constituídas de células e tecidos em estado de latência e grande diferenciação celular (AUDE, 1993). Sendo o tolete o segmento de um colmo maduro (Figura

2), contém feixes vasculares (xilema e floema), que promovem a ligação fisiológica entre a brotação e as raízes em um desenvolvimento inicial, com as reservas armazenadas nas células parenquimáticas do tolete. Assim, os novos pontos de crescimento funcionam como drenos fisiológicos, dando continuidade em seu crescimento e desenvolvimento (CÂMARA, 1993).

Figura 2 - Colmo da cana-de-açúcar (Fonte: Adaptado Bacchi, 1983).

Os colmos apresentam muitas formas, cores e aparências, típicas de cada variedade, muito úteis nas descrições e identificações de cada uma. Os tipos de colmos, nós e entrenós existentes podem ser observados na Figura 3.

Figura 3 - Tipos de nós e internódios (Fonte: Adaptado Artschwager & Brandes, 1958).

Todos os nós do colmo contêm uma gema, arranjada alternadamente e, protegida pela bainha da folha, conectada ao internódio. As gemas podem ter diversos formatos: triangular, pentagonal, rombóide, redonda, oval, obovada, oval alongada, retangular e imbricada (Figura 4).

Figura 4 – Tipos e formas de gemas de cana-de-açúcar
Fonte: Adaptado Xavier, 2014.

Quando as folhas mais velhas caem (de algumas variedades), deixam uma cicatriz, chamada de cicatriz foliar. Acima da cicatriz foliar, na região da inserção da gema, existe uma zona radicular, que contém os primórdios radiculares, importantíssimos para a formação de um novo indivíduo (XAVIER et al., 2014).

2.3.2 Emergência

Em condições de campo, a brotação acontece cerca de 20 a 30 dias após o plantio. O broto inicial será o colmo primário (SEGATO et al., 2006; AUDE, 1993). De acordo com Câmara (1993), nessa fase, as raízes do tolete estão maiores e com maior capacidade de absorver água e nutrientes do solo, enquanto que a brotação se apresenta com a espessura de 5 a 8 mm ao nível da superfície do solo.

No geral, o processo de degradação das reservas dos toletes pode ser dividido em três fases: *Fase (1)* - Rápida com acentuado aumento da atividade respiratória, grande quantidade de energia produzida e início da degradação das substâncias de reservas; *Fase (2)* - Transporte ativo de substâncias de reserva (simplificadas) para os pontos de crescimento; *Fase (3)* - Substâncias transformadas da Fase 2 são reorganizadas em substâncias complexas para formar o citoplasma, protoplasma e parede celular, tornando visível o crescimento do rebento e primórdios radiculares, conforme Casagrande e Vasconcelos (2010).

Num período de 60 dias, as reservas são fundamentais para a evolução do processo de brotação, diminuindo gradualmente o vínculo com o desenvolvimento do sistema radicular,

que inicia a absorção de água e nutrientes do meio de crescimento (CASAGRANDE; VASCONCELOS, 2010).

Segundo Simões Neto (1986), no processo de brotação é indispensável distinguir os aspectos que interferem no mesmo e quais as extensões destes no desenvolvimento da planta. Para Segato et al. (2006), na fase do desenvolvimento inicial, a brotação é dependente das reservas do tolete e os novos pontos de crescimento atuam como drenos fisiológicos.

A brotação das gemas nos toletes de cana-de-açúcar varia em função de fatores endógenos e exógenos, de forma que a produção de perfilhos pode ser relacionada com a eficiência na formação de raízes adventícias (CASTRO, 2000). De acordo com Aude (1993), a brotação das gemas é um dos principais processos e requer maior atenção, pois é nesta fase que acontece a determinação da futura população de plantas no campo, isto é, o estande de plantas por unidade de área (ocorre de 15 a 20 dias após o plantio).

De acordo com Almeida (1994), podem separados os seguintes estágios de gemas em um mesmo colmo:

- Gemas jovens e em formação (apicais): gemas do palmito até as de número três e quatro;
- Gemas maduras e latentes (medianas): se encontram na região mediana do colmo;
- Gemas em início de brotação (basais): geralmente mais próximas do nível do solo.

Em relação ao manejo, ou seja, fatores inerentes à planta e ao ambiente pode-se citar: os fatores genéticos e fisiológicos e ainda, os fatores fitotécnicos. De acordo com os autores, eles são inter-relacionados e podem atuar complementarmente (CASAGRANDE; VASCONCELOS, 2010).

Segundo Casagrande (1991), mesmo havendo condições ambientais semelhantes, a brotação pode ser diferente entre as variedades de cana-de-açúcar. A boa capacidade de brotação é uma característica desejável nas variedades, principalmente quando essa fase envolve épocas com condições ambientais desfavoráveis. Para Lucchesi (2008), existem cultivares cuja emergência é rápida, em outros, mais tardia, alguns em que as gemas brotam antes das raízes, em outros o contrário, características essas de ordem genética, que poderiam também sofrer influências das condições edafoclimáticas.

Segato et al. (2006) citam que a capacidade de brotação, enraizamento e emergência da cana-de-açúcar é uma característica genética, no entanto, dentro da mesma variedade, a brotação varia de acordo com a idade da muda, diferença de idade da gema, concentração de açúcares e nutrientes minerais.

Os teores de glicose, de umidade e de minerais diminuem do ápice para a base dos colmos, enquanto que o teor de sacarose diminui em sentido contrário, isto é, aumenta do ápice para a base dos colmos (BOVI, 1982). Segundo o autor, é possível notar que a velocidade de emergência das gemas está positivamente correlacionada com os teores de glicose, de umidade e de minerais e negativamente correlacionada com o teor de sacarose existente nos colmos de cana-de-açúcar. Portanto, num mesmo colmo, existe um gradiente de brotação por causa da diferença da idade entre as gemas que vão do ápice para a base.

Simões Neto (1986), estudando o efeito da quantidade de reserva do tolete sobre o desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar, observou efeito direto dos níveis de reserva energética sobre o crescimento do broto primário. Para Casagrande (1991), quanto mais bem nutridos estiverem os toletes, melhor será a brotação.

Lucchesi (2008) ressalta a importância da dominância apical sobre a brotação das gemas. De acordo com o autor, a auxina é produzida em grandes quantidades na gema apical, possuindo um transporte polar e basípeto no caule, isto é, do ápice para a base. Neste sentido, a dominância apical induz primeiramente o desenvolvimento das gemas localizadas na região superior do colmo e mais tardiamente as localizadas na base.

Uma forma de reduzir os efeitos da dominância apical é o seccionamento dos colmos por volta do plantio. Beauclair e Scarpari (2007) citam que esta prática é realizada visando garantir uma boa porcentagem de brotação, uma vez que toletes com maior número de gemas têm porcentagem de brotação diminuída em decorrência da dominância apical. Assim que ocorre a brotação, esta induz a formação de auxina, fazendo com que as demais gemas não brotem ou o façam com atraso, o que resulta numa menor porcentagem de brotação, quando comparada com o uso de toletes com menor número de gemas.

Em linhas gerais, os estudos relacionados com cana inteira e picada mencionam que a dominância apical é maior em colmos maduros, devendo verificar a idade das mudas (CASAGRANDE, 1991).

Além disso, a brotação pode ser afetada pela quantidade de reserva colmos de cana-de-açúcar. Assim, quanto maior a quantidade da reserva, maior a velocidade e vigor da brotação, já que a gema se utiliza das reservas para emergir. Além disso, foram encontrados incrementos no número de perfilhos, comprimento do sistema radicular, peso da matéria seca da parte aérea da planta, das raízes e do tolete (SIMÕES NETO, 1986).

Dillewijn (1952) avaliou o tamanho de toletes com uma gema, variando a quantidade de reserva energética, sendo verificado que quanto maior o entrenó, melhor a germinação e o

desenvolvimento da brotação. É importante ressaltar que, os resultados dependem das variedades e das condições ambientais.

2.3.3 Perfilhamento e estabelecimento da cultura

O perfilhamento é definido como a capacidade que cada variedade tem de rebrotar, através das gemas não brotadas dos colmos cortados. Cada perfilho comporta-se como uma planta independente e autônoma, pois tem órgãos próprios como raízes, folhas e frutos, mas todos aqueles que compõem a touceira continuam tendo ligações entre si e podem eventualmente trocar alguns nutrientes e água. O perfilhamento é afetado por vários fatores como luz, temperatura, umidade do solo e nutrientes, que são manejados pelo espaçamento, profundidade e época de plantio, época de corte, controle de pragas e doenças (ALEXANDER, 1973). Para Barnes (1964), as canas tropicais usualmente tem um sistema de perfilhamento simples, descrito como perfilhos primários, secundários, terciários e assim por diante. A extensão do perfilhamento e a sobrevivência dos perfilhos até a maturidade são de certa forma uma medida de caráter varietal, mas, é influenciada pelo clima, solo e condições nutricionais. Algumas variedades perfilham precoce e profusamente, porém, os perfilhos são tardios em elongação, enquanto outros se desenvolvem e formam colmos mais facilmente com menor produção de perfilhos. A fase de perfilhamento em grande parte determina a produtividade da cultura, mas nem todos os perfilhos sobrevivem.

As gemas plantadas irão gerar os perfilhos primários, cujas gemas poderão gerar os perfilhos primários, cujas gemas poderão gerar os perfilhos secundários e suas gemas os terciários e assim sucessivamente.

De acordo com Aude (1993), o número de perfilhos é reduzido em função da competição por luz, água e nutrientes. O perfilhamento de cada variedade resultará no número de gemas por metro e a brotação da soqueira de cada material genético.

Quanto aos fatores que afetam o perfilhamento, Alexander (1973), Câmara (1993) e Ripoli et al. (2006) mencionam a temperatura, umidade e aeração do solo, nutrientes e ventos. Quanto aos fatores bióticos, relatam a presença de pragas, doenças e competição com plantas invasoras. Segundo Casagrande (1991) o perfilhamento aumenta até a temperatura máxima de 30 °C.

Quanto ao manejo, os autores Camargo (1976), Câmara (1993), e Segato et al. (2006) citam a adubação, manejo das plantas invasoras, espaçamento utilizado, época de corte e de plantio e profundidade de plantio.

O processo de perfilhamento continua a ocorrer através da sucessiva brotação de gemas basais localizadas nos colmos anteriores (CÂMARA, 1993). Em seguida há o aparecimento das etapas de crescimento dos colmos, crescimento radicular vigoroso, área foliar máxima e definição da população final de colmos. Nesses estádios ocorre o estabelecimento definitivo da cultura, pois o número de perfilhos por unidade de área associada ao início do acúmulo de sacarose nos colmos determina a futura produtividade ou fitomassa (toneladas/ha) da cultura. Nesse estágio ocorre intensa divisão celular, diferenciação e alongamento celular, resultando em aumento de matéria seca total da planta (AUDE, 1993).

Segundo Machado et al. (1982), as medidas biométricas das plantas durante a estação de crescimento permitem a utilização de índices fisiológicos na tentativa de explicar as diferenças varietais quanto à produção econômica; sendo os índices fisiológicos deduzidos a partir da variação temporal da fitomassa e da área foliar. De acordo com Suguitani (2001), a área foliar está correlacionada com a produtividade das plantas, pois as folhas interceptam a luz fotossinteticamente ativa para a realização da fotossíntese, produzindo carboidratos que serão utilizados em todo ciclo fenológico da planta. Segundo Machado et al. (1982), a intensidade de crescimento foliar na fase inicial do desenvolvimento da cana-de-açúcar é o fator mais importante na taxa de crescimento e na biomassa acumulada, principalmente no desenvolvimento da matéria seca da parte aérea em relação aos colmos.

Quanto ao desenvolvimento dos colmos, Lingle e Smith (1991), citam que o tempo médio de produção do entrenó de cana-de-açúcar é de uma semana, sendo que enquanto o entrenó apical se encontra em alongação, os entrenós basais já estão completamente alongados.

De acordo com Landell e Silva (2004), os componentes de produção determinantes para o potencial agrícola são: a altura do colmo, o número de perfilhos e o diâmetro dos colmos. Considerando a densidade do colmo igual a um, o valor de tonelada de cana por hectare (TCH) pode ser estimado pela Equação 1:

$$TCH = \frac{(0,007854 \times d^2 \times h \times C)}{E} \quad (1)$$

Em que:

d - diâmetro médio dos colmos (cm);

h - altura média dos colmos (cm);

C - perfilhamento (número de colmos / m linear); e

E - espaçamento entre sulcos (m).

2.4 Tipos de Plantio

De acordo com Embrapa (2012), para a implantação de um canavial, deve-se fazer, inicialmente, o planejamento da área, realizando um levantamento topográfico. Nos locais de plantio é feito um trabalho de engenharia, conhecido como sistematização do terreno, no qual se subdivide a área em talhões e alocam-se os carregadores principais e secundários. Atualmente, busca-se obter talhões planos mantendo linhas de cana com grande comprimento para evitar manobras das máquinas, otimizando operações mecanizadas.

Os princípios de conservação do solo e a execução de terraços devem orientar todo o planejamento da sistematização do terreno. O plantio da cana pode ser efetuado manualmente ou mecanicamente (EMBRAPA, 2012). Também é necessário, antes do plantio propriamente dito, realizar um planejamento, buscando no mercado um fornecedor idôneo.

Segundo Ripoli e Ripoli (2004), existem três sistemas de plantio em utilização no Brasil: o manual, o semimecanizado e o mecanizado. O primeiro tem uma maior ocorrência em regiões do Nordeste brasileiro e é caracterizado pelo fato de todas as operações de plantio serem manuais. No segundo sistema, a sulcação é efetuada mecanicamente, a deposição das mudas é manual, lançadas de caminhões de carga e a cobertura (e adubação de superfície) também ocorrem mecanicamente. No sistema mecanizado, realizam-se todas as operações citadas anteriormente (sulcação, deposição de mudas, adubação e cobrimento do sulco), e ainda realiza a aplicação de agroquímicos de solo.

2.4.1 Plantio Semimecanizado

Segundo Ripoli (2006), o plantio semimecanizado, é também conhecido popularmente como “manual” por envolver neste sistema de plantio somente a sulcação de forma mecanizada, sendo que a distribuição de mudas é executada de forma manual. A despalha das mudas é feita de forma manual para evitar a danificação das gemas. Em seguida as mudas são carregadas em um caminhão ou trator acoplado de uma carreta depósito e transportadas até o local do plantio. O veículo de transporte entra no talhão no sentido dos sulcos e uma equipe formada de 2 a 6 homens, retira da carroceria as mudas ainda em forma de colmos e as distribuem nos sulcos, cruzando a base de um colmo, com a ponta do seguinte. Em seguida, uma equipe munida de facões desinfetados, percorrem os sulcos individualizando os colmos das mudas em rebolos de aproximadamente 3 gemas, conforme a Figura 5.

Figura 5 – Modelo convencional de plantio de cana-de-açúcar
 Fonte: Adaptado Xavier, 2014.

Após esta operação chamada de “picamento”, as mudas são cobertas, havendo posteriormente o desenvolvimento dos colmos. Lingle e Smith (1991) citam que o tempo médio de produção do entrenó de cana-de-açúcar é de uma semana, sendo que enquanto o entrenó apical se encontra em alongação, os entrenós basais já estão completamente alongados.

2.4.2 Plantio Mecanizado

O sistema de plantio mecanizado elimina a mão de obra utilizada no corte manual da muda e parte do pessoal envolvido no plantio convencional, pois possibilita a mecanização total das operações de plantio, executando de uma só vez a sulcação, adubação, distribuição de rebolos e cobrimento, o que implica na redução de custos e maior facilidade de gerenciamento do sistema (PINTO e MORAES, 1997), conforme a Figura 6.

No plantio totalmente mecanizado, segundo Embrapa (2012), as mudas que alimentam a plantadora devem estar picadas e, por isso, são colhidas mecanicamente com colhedoras. Estas distribuem as mudas, o adubo e o inseticida, se for necessário. Existe um modelo de plantadora que possui, também, uma carreta para aplicação de torta de filtro no sulco. Com o auxílio de plantadoras, vários processos que antes eram realizados de forma manual, podem ser feitos com maior eficiência e rapidez.

Atualmente, não se verifica diferenças quanto à brotação dos talhões plantados manual ou mecanicamente. No entanto, existem avaliações com algumas máquinas plantadoras, em que todas elas lançam as mudas na forma de colmos inteiros, mostrando que o sistema convencional de plantio (manual) apresenta uma melhor uniformidade de distribuição dos colmos nos sulcos, enquanto o mecanizado apresenta uma tendência de menor danificação das mudas (EMBRAPA, 2012).

Figura 6 – Distribuidora de colmos mecanizada de cana-de-áçúcar
Fonte: Adaptado Xavier, 2014.

2.4.3. Sistema Plene de plantio

Devido à expansão crescimento da cultura da cana-de-açúcar no Brasil, tornou-se necessária a criação de um novo sistema de plantio, a fim de se obter melhores resultados com menores quantidades de mudas a serem plantadas. Este sistema foi criado pela empresa Syngenta, localizada na cidade de Ribeirão Preto, no interior do estado de São Paulo. Trata-se do sistema conhecido comercialmente como Plene, onde a cana é plantada através de micro-

toletes específicos, ou seja, bastões cilíndricos com revestimento fibroso, que protegem melhor o material genético do ataque de pragas e doenças. A evolução não é no melhoramento genético e sim, na estrutura física do tolete. O potencial de produção é o mesmo, mas o micro-tolete acaba sendo mais produtivo porque suporta melhores condições adversas, tais como a seca e o ataque dos patógenos (PORTAL DIA DE CAMPO, 2012).

Para ser efetuado o plantio destes micro-toletes, houve a necessidade da criação de uma máquina específica, originada graças à parceria firmada entre as empresas Syngenta e John Deere. Este equipamento foi desenvolvido especificamente para o plantio dos toletes. A grande diferença é que cada micro-tolete tem 4 cm de comprimento e uma pequena gema, que dará origem a uma nova planta, conforme a Figura 7. Por essa razão, com aproximadamente 1200 a 1500 quilos, é possível fazer o plantio de um hectare. A diferença básica entre o Plene e o plantio convencional de cana encontra-se no micro-tolete, que é revestido por um polímero especial, minimizando a perda de água. Isso permite que ele fique mais tempo no solo, aguardando a próxima chuva, por exemplo. Estas são ferramentas, que aumentarão as chances de a planta vir com mais força e, conseqüentemente, traduzir isso em produtividade, ou seja, maior quantidade de sacarose por hectare. Outro aspecto importante a ser observado é que, ao movimentar menos mudas, se gasta menos combustível e demanda-se menos mão de obra, reduzindo assim, custos operacionais. Assim, executa-se um trabalho com maior qualidade, que pode ser traduzido em aumento de produtividade, de qualidade da matéria-prima e redução de perdas (PORTAL DIA DE CAMPO, 2012).

Figura 7 – Tecnologia de plantio de micro-rebols mecanicamente

2.5 Mudas-pré-Brotadas (MPB) ou “Bud Chips”

Comercialmente, o colmo é o material básico para propagação. Em geral, é cortado em pequenos pedaços que carregam 2-3 gemas. Quando a peça de haste transporta mais do que uma gema, surge o fenômeno geral da dominância apical. A gema terminal germina rapidamente e inibe o desenvolvimento de gemas menores. Isto resulta na redução da percentagem média de germinação. Clements (1940) constatou que, em média, quanto mais longo o tamanho do tolete-semente, menor a germinação. Segundo ele, usar peças de sementes com mais de três gemas é desperdiçar as gemas adicionais.

De acordo com van Dillewijn (1952), onde as condições de crescimento são favoráveis, cortes de uma única gema são tão eficientes quanto um material com condições normais de campo.

Vários trabalhos têm sido feitos, utilizando diferentes tipos de materiais de cana-de-semente, tais como uma gema, ou com uma até três gemas configurando um tolete da cultura e em seguida, a determinação do efeito do material de plantio em crescimento e rendimento da cana-de-açúcar na Índia (REDDY et al. 1986). Neste trabalho foi observado que, devido à economia em material de semente, o máximo de retornos líquidos pode ser obtido com o plantio isolado de uma gema.

De acordo com Van Dillewijn (1952), um pequeno volume de tecido, com um único primórdio de raiz aderido, é suficiente para garantir a germinação da cana. Ramaiah et al. (1977) demonstraram a praticabilidade da eliminação de parte dos entrenós da peça de sementes, usando apenas as gemas individualizadas para plantio comercial.

Algumas pesquisas estabeleceram que cerca de 80% da massa do material utilizado para multiplicação (colmos) podem ser salvos através do plantio de mudas de uma gema (GOKHALE, 1977; NARENDRANATH, 1992; SREENIVASAN, 1996; IQBAL et al., 2002; PRASAD; TAMIL SELVAN, 2006). A porção restante da cana é normalmente utilizada para a extração de suco e destinada à produção de açúcar mascavo ou açúcar, sendo destinada ao processo industrial.

Ramaiah et al. (1977) realizaram um experimento detalhado de produção de mudas com três variedades (Co 419, Co 975 e Co 997), comparando diferentes tipos de materiais para propagação. A análise mostrou a viabilidade técnica “bud chip” quanto ao pegamento das mudas.

Gokhale (1977) relatou que o método MPB é uma tecnologia que garante o pegamento de uma grande quantidade de gemas nos plantios. Ramaiah et al. (1977) concluíram que o plantio comercial pode ser praticado com MPB's colocadas no solo, gerando áreas de cultivo com alto perfilhamento, rendimentos mais elevados e com uma melhor recuperação na cana-soca.

De maneira simplista, as gemas são colocadas em bandejas usando substrato apropriado, crescendo sob ambiente adequado para criar umidade ideal de germinação. Depois da brotação, é necessário um sistema de sombreamento até atingir um número de folhas para serem transplantadas. Após uma pré-seleção, mudas saudáveis são transferidas e transplantadas, buscando aumentar o número de perfilhos, com mortalidade insignificante, conforme a Figura 8.

Figura 8 – Modelo de produção de mudas de cana-de-açúcar para plantio de plantas “pré-brotadas”
Fonte: Adaptado Tamil Selvan, 2006.

Para a viabilização do plantio mecanizado de MPB's, algumas máquinas foram adaptadas. A concepção atual é importada da Itália, sendo necessário um trator de 45 hp para movimentação (se não for automotriz). Durante o movimento, ela deposita as mudas de cana no espaçamento indicado com certa quantidade de água, para evitar o choque inicial, promovendo assim o estabelecimento rápido no campo.

Segundo Thomas (2013), estudos realizados na Estação de Pesquisa Agrícola Basanthpur do distrito de Medak, indicam que a máquina transplantadora tende a promover menor mortalidade de mudas de cana e elevado número de perfilhos em comparação ao método convencional mecanizado. Os perfilhos, por sua vez, transformam-se em maior número de colmos produtivos.

As diversas características morfológicas dos colmos e suas gemas são as responsáveis pela ampla variabilidade de comportamento no sistema MPB. O rendimento das mudas transformadas em MPB's, por exemplo, está relacionado ao comprimento médio e diâmetro dos internódios, conforme a Equação 2:

$$n^{\circ}\text{gemas}/\text{m}^3 = \frac{1.273.236,57}{(d^2 \times \text{CIN})} \quad (2)$$

Em que:

d - diâmetro médio dos colmos (cm); e

CIN - comprimento de internódio (cm).

Assim, com essas duas medidas, podemos conhecer o número de gemas/tonelada de cana (considerando a densidade da cana igual ao valor 1, podemos dizer que cada m³ de colmo de cana equivale a uma tonelada) para cada viveiro ou matrizeiro, conforme a Tabela 2 (XAVIER et al., 2014).

Tabela 2 - Número de gemas/m³ em função do diâmetro e comprimento de internódios de colmos de cana-de-açúcar

DIÂMETRO (cm)	COMPRIMENTO DE INTERNÓDIO (cm)			
	6	10	14	18
2	53.051,50	31.830,90	22.736,40	17.683,80
2,4	36.841,30	22.104,80	15.789,10	12.280,40
2,7	29.109,20	17.465,50	12.475,40	9.703,10
3	23.578,50	14.147,10	10.105,10	7.859,50
3,3	19.486,30	11.691,80	8.351,30	6.495,40

Assim sendo, uma cana com diâmetro fino (2 cm) e internódio extremamente curto (6 cm) terá aproximadamente 50.000 gemas/tonelada de colmo. Considerando-se uma cana grossa (3,3 cm) que tenha os internódios longos (18 cm), o número de gemas/tonelada de colmo cairá para aproximadamente 6.500, ou seja, menos de sete vezes a quantidade de gemas da primeira cana. Portanto, esse fator poderá ser relevante economicamente no sistema MPB (XAVIER et al., 2014).

2.6 Plantio de viveiros de cana-de-açúcar

De acordo com Gerald e Lee (2011), a falta de um processo de multiplicação para a produção de mudas sempre foi um sério problema para os programas de melhoramento de cana-de-açúcar. Geralmente, após 10 a 15 anos de trabalho, para se completar um ciclo de seleção em cana-de-açúcar, a variedade melhorada só pode ser plantada comercialmente (área de produção) vários anos depois, quando mudas suficientes tiverem sido produzidas e tornadas disponíveis. Isso constitui uma séria perda econômica, pois deixa de ganhar com a maior lucratividade, que seria obtida em decorrência do plantio da nova variedade mais cedo. Além disso, é bem possível que a nova variedade entrasse em seu ciclo degenerativo mais cedo, devido à contínua contaminação pelas doenças sistêmicas, que ocorre frequentemente durante os estágios de multiplicação desta variedade em campo aberto.

De acordo com LANDELL (2015), o cálculo do consumo médio de mudas de cana para formação de viveiros pode ser obtido pela Equação 3:

$$CM = \frac{(GM \times TCH \times EV)}{(PV \times NGC \times EL)} \quad (3)$$

Em que:

CM - consumo estimado de mudas para plantio (toneladas ha⁻¹);

GM - gemas a serem plantadas por metro de sulco;

TCH - produtividade do viveiro (toneladas de mudas ha⁻¹);

EV - espaçamento do viveiro de mudas (m);

PV - número de colmos por metro no viveiro (perfilhos);

NGC - número médio de gemas por colmo do viveiro; e

EL - espaçamento da área a ser plantada.

Assim, ao idealizar o plantio de cana-de-açúcar ou reforma dos canaviais, dependendo da forma de plantio que será adotada pela propriedade, há uma variação na demanda de colmos (gemas) de um viveiro de cana-de-açúcar. Considerando um espaçamento entre touceiras de 1,5 x 0,5 m, em sistemas de plantio convencional (manual), a demanda é na ordem 12 t ha⁻¹ (25 gemas por metro de sulco). Há medidas em que o plantio recebe algum tipo de mecanização, onde existe a necessidade de aumentar a quantidade de gemas a serem distribuídas no sulco de plantio (30 a 35 gemas por metro de sulco), aumentando a demanda de colmos entre 17 e 20 t ha⁻¹. Na escolha do sistema de mudas-pré-brotadas, o número de gemas por metro de sulco cai drasticamente (3 gemas por metro de sulco), demanda em média somente 1,5 t de colmos para o plantio de um hectare de cana de açúcar, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 – Demanda de colmos para plantio de cana-de-açúcar em diferentes formas de plantio

GM	TCH	EV	PV	NGC	EL	CM	Forma de Plantio
25	70	1,5	12	12	1,5	12,2 t ha ⁻¹	Convencional / Manual
30	70	1,5	12	12	1,5	14,6 t ha ⁻¹	Convencional / Semimecanizado
35	70	1,5	12	12	1,5	17,0 t ha ⁻¹	Mecanizado
3	70	1,5	12	12	1,5	1,5 t ha ⁻¹	Plene / PB's

CM - consumo estimado de mudas para plantio (t/ha); GM - gemas a serem plantadas por metro de sulco; TCH - produtividade do viveiro (toneladas de mudas/ha); EV - espaçamento do viveiro de mudas (m); PV - número de colmos por metro no viveiro (perfilhos); NGC - número médio de gemas por colmo do viveiro; EL - espaçamento da área a ser plantada.

Além disso, por se tratar de uma cultura semi-perene, a cana-de-açúcar possui a característica de rebrota. Com isso, após um primeiro ciclo fenológico e com sua colheita, inicia-se outro ciclo, podendo haver também outros subsequentes. Segundo dados da ASSOCANA (2014), o custo de plantio da cana-de-açúcar, publicado em fevereiro de 2013, foi de R\$ 4239,80 por hectare. Este custo será diluído ao longo dos demais ciclos, desta maneira a depreciação da variedade e, sobretudo a origem da muda, serão fatores determinantes para o sucesso e maior estabilidade da produção ao longo dos anos.

Portanto, para se atingir uma alta capacidade produtiva de uma usina, é necessário que se utilizem melhores procedimentos de multiplicação, de modo que quantidades suficientes das novas variedades sejam obtidas rapidamente e que o estado saudável da nova variedade seja preservado.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento apresentado nesta tese está vinculado ao projeto de pesquisa *FAPESP 2012/50083-7: "Produtividade da Água em Biomassa e Energia para Variedades de Cana-de-açúcar em Função dos Níveis de Irrigação: Experimentação e Simulação"*, sob coordenação do Prof. Rubens Duarte Coelho, aprovado em edital específico do Programa de Apoio à Pesquisa em Parceria para Inovação Tecnológica (PITE) junto à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

Este projeto temático de pesquisa será apresentado em cinco teses de doutorado e três dissertações de mestrado envolvendo oito alunos do Curso de Pós-graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas, enfocando os seguintes temas: a) Produtividade de cana-de-açúcar irrigada por gotejamento: Interações entre variedades, lâminas e intensidade do déficit hídrico na fase de maturação (BARBOSA, 2015), b) Produção de gemas para sistema de mudas-pré-brotadas, c) Parametrização e modelagem, d) Partição de biomassa e conversão em energia 1G e 2G, e) Taxa de crescimento e temperatura base, f) Poder calorífico e quantificação de cinzas, g) Trocas gasosas e relações com acúmulo de biomassa, e h) Coeficiente de utilização biológica dos nutrientes.

Em função da complexidade operacional do experimento, os oito alunos envolvidos nesse projeto trabalharam em conjunto nas diversas etapas de condução destes experimentos, sendo o nível de participação de cada um variável, em função das atividades programadas.

3.1 Considerações sobre o Experimento 1 e Experimento 2

Este trabalho de pesquisa foi desenvolvido em 2 etapas denominadas: *Experimento 1 e Experimento 2*. Os dados aqui apresentados referem-se ao Experimento 2, sendo que o Experimento 1 resultou na tese de doutorado de BARBOSA (2015) e foi responsável pelo fornecimento das gemas para a implantação do Experimento 2.

O Experimento 1 (BARBOSA, 2015) foi conduzido em uma estufa instalada na área experimental do Departamento de Engenharia de Biossistemas (LEB) da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP), em Piracicaba, no estado de São Paulo. A estufa principal é constituída de três vãos conjugados, com área total de aproximadamente 400 m², sendo também utilizada uma estufa anexa (Estufa de Apoio) com 110 m², também utilizada para abrigar os quadros de comandos do sistema de irrigação, conjuntos moto-bombas, sistemas de aquisição de dados (dataloggers), conforme a Figura 9.

Figura 9 - Localização e imagem frontal da estufa instalada no Departamento de Engenharia de Biosistemas da ESALQ. (Fonte: BARBOSA, 2015)

No Experimento 1 adotou-se um delineamento experimental em blocos inteiramente aleatorizados, com três blocos completos e com parcelas sub-subdivididas (split-split-split-plot). Os tratamentos testados foram distribuídos em esquema fatorial (4x4x8), conforme se apresenta: lâmina de irrigação ao longo do ciclo, com 4 níveis (Lâmina, subparcela); variedade comercial de cana-de-açúcar, com 8 variedades (Variedade, sub-subparcela) e intensidade do déficit hídrico na fase final do ciclo para maturação da cana-de-açúcar, com 4 estratégias de restrição hídrica (Maturação, parcela).

3.1.1 Caracterização dos tratamentos do Experimento 1

Foram utilizadas variedades dos três principais (mais tradicionais) programas de melhoramento do país: Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA); Instituto Agrônomo de Campinas (IAC); Centro de Tecnologia Canavieira (CTC). Entre as oito variedades foi incluída uma variedade sul-africana, considerada como um padrão internacional para modelagem dessa cultura.

O fator Lâmina é descrito com os seguintes níveis (manejos): L100 - Reposição de 100% da demanda hídrica ao longo de todo o ciclo da cultura; L50 - Reposição de 100% da demanda hídrica durante a fase inicial de desenvolvimento (~110 DAP) e aplicação de 50% da lâmina demandada no tratamento referência durante a fase de crescimento dos colmos; L75 - Reposição de 100% da demanda hídrica durante a fase inicial de desenvolvimento (~110 DAP) e aplicação de 75% da lâmina demandada no tratamento referência durante a fase de crescimento dos colmos; L125 - Reposição de 100% da demanda hídrica durante a fase inicial de desenvolvimento (~110 DAP) e aplicação de 125, 100 e 75% da lâmina demandada no

tratamento referência durante a fase de crescimento dos colmos, correspondendo a um período de 64, 41 e 104 dias respectivamente para cada fração, conforme a Figura 10.

Figura 10 - Representação gráfica das frações das lâminas aplicadas durante a fase inicial de desenvolvimento e de crescimento dos colmos. * A lâmina referência é a lâmina do tratamento L100 de cada variedade. Adaptado BARBOSA (2015).

Conforme a Tabela 4, a diferença nos tratamentos de lâminas ocorreu com a variação das frações ao longo do tempo e as variedades têm consumos variados ao longo do tempo em função de diferentes valores de Kc (taxa de transpiração) para cada nível de produtividade (LEAL, 2012).

Tabela 4 - Volume total de irrigação aplicado (mm) por parcela para todos os tratamentos (aproximadamente 1,01 m² parcela⁻¹).

Variedade	L50	L75				L100				L125
		M3	M1	M2	M4	M3	M1	M2	M4	
V1	569,9	816,7	726,0	693,6	752,1	1063,4	942,5	897,6	977,3	803,3
V2	566,5	809,0	727,4	699,7	754,3	1051,5	942,7	904,6	978,5	804,5
V3	486,5	692,2	610,0	581,6	636,6	897,9	788,3	749,2	823,7	676,8
V4	567,3	807,8	729,7	703,1	753,9	1048,3	944,2	907,3	976,4	806,5
V5	480,6	682,2	602,7	573,9	624,0	883,9	777,9	738,5	806,2	664,6
V6	443,1	626,7	562,7	540,8	581,5	810,3	725,0	694,6	750,0	623,1
V7	496,8	710,6	630,6	603,6	655,0	924,4	817,7	780,8	850,2	691,9
V8	385,0	545,0	473,8	448,6	493,4	705,0	610,1	575,0	636,1	519,8

Adaptado BARBOSA (2015)

Em relação aos níveis do tratamento de intensidade do déficit hídrico na fase final do ciclo para maturação da cana-de-açúcar (Maturação), são descritos da seguinte forma: um dos níveis propostos foi um nível de referência (M3) sem déficit hídrico, mantendo a irrigação sem alterar a lâmina aplicada até a data de colheita do experimento, ou seja, teoricamente não houve mudança no manejo da irrigação que estimulasse/induzisse a maturação; também foi proposta uma metodologia similar à australiana de "drying-off" (ROBERTSON et al., 1999), com um déficit hídrico severo de curta duração, que consiste no corte total da irrigação 15 dias antes do início da colheita, metade do número de dias necessários para "esgotar" a CAD do solo para uma ETo média de $2,6 \text{ mm dia}^{-1}$ (M4); nível proposto com um déficit hídrico moderado de longa duração (M1), que consistiu em uma leve diminuição da lâmina de referência de forma gradativa durante os últimos 60 dias antes da colheita, sendo as frações de lâminas reduzidas para 80 e 60% para L100 e 60 e 45% para L75; o último nível proposto para o tratamento Maturação foi um déficit hídrico intensivo de longa duração (M2), que consiste na diminuição mais severa da lâmina de referência de forma gradativa durante os últimos 60 dias antes da colheita, sendo as frações de lâminas reduzidas para 80, 60, 40 e 30% para L100 e 60, 45, 30 e 22,5% para L75. Os dois últimos manejos descritos (M1 e M2) foram impostos 60 dias antes da colheita, pois o experimento foi conduzido em estufa, com sistema radicular confinado e as plantas não poderiam ser mortas. Assim, adotou-se metade do período (120 dias) em que Cardozo (2012) observou os melhores ajustes entre precipitação acumulada e análises tecnológicas. Na Figura 11 é apresentado graficamente um resumo com as frações aplicadas durante a imposição dos tratamentos de Maturação.

Destaca-se que para as os tratamentos de Lâmina L50 e L125 não houve imposição dos tratamentos de Maturação (Tabela 2), tendo em vista que a redução ainda maior na fração de água aplicada para esses tratamentos poderia ocasionar a perda/morte de algumas plantas, inviabilizando a continuidade do experimento com a cana-soca. Com isso, esses tratamentos servirão como fonte de dados para uma análise mais detalhada da variabilidade espacial no interior da estufa, pois, não havendo imposição de Maturação, têm-se quatro repetições de L50 e L125 dentro de cada bloco, totalizando 12 repetições para cada combinação entre Lâmina e Variedade.

Figura 11 - Representação gráfica das frações das lâminas aplicadas durante a fase de maturação para os tratamentos M1, M2, M3 e M4. * A lâmina referência é a lâmina do tratamento L100 de cada variedade. Adaptado BARBOSA (2015)

Na Figura 13 é apresentado o croqui com a distribuição dos tratamentos seguindo o delineamento experimental descrito acima e que fora conduzido na Tese de Fernando da Silva Barbosa.

3.1.1 Condução do Experimento 1

Foi construído um total de 132 vasos em concreto armado com dimensões de 1,04 m de comprimento, 1,24 m de largura e 0,76 m de altura, resultando em um volume interno aproximado de 1,0 m³/vaso. Para a condução do experimento, optou-se por um solo representativo das áreas de expansão da cultura de cana-de-açúcar no Brasil, o Latossolo Vermelho Amarelo, que continha 24% de argila, 5% de silte e 71% de areia.

O sistema de irrigação adotado foi o gotejamento, utilizando tubo gotejador com emissor autocompensante, antisifão e antidrenante. Para controlar individualmente cada parcela experimental, foi instalada uma linha de gotejo com cinco emissores espaçados em

0,20 m e com vazão de $1,6 \text{ L h}^{-1}$ em cada parcela ($n=396$). Assim, foi utilizado aproximadamente 1,0 m de tubo gotejador em cada parcela, somando uma vazão de 8 litros hora^{-1} por parcela. A operação do sistema de irrigação foi realizada manualmente por questões de segurança, frente à adoção de um sistema automatizado para irrigação das parcelas de forma individualizada, conforme destacado na Figura 12.

Figura 12 - Detalhes da montagem do sistema de irrigação. Linha de gotejo posicionada centralmente nas parcelas (A); Microrregistro instalado no painel de controle (B); Vista geral do painel de controle com 396 microrregistros (C); Vista geral da saída dos microtubos na estufa experimental para conexão com a linha de gotejo das parcelas (D). Ilustração do posicionamento final das mudas dentro das parcelas (E); Vista geral da estufa no momento da irrigação realizada após o transplante de todas as mudas (F). Adaptado BARBOSA (2015).

Figura 13 - Croqui da distribuição dos tratamentos pelo delineamento em blocos inteiramente aleatorizados com parcelas sub-subdivididas (split-split-plot) do experimento precursor – Experimento 1. Adaptado BARBOSA (2015).

3.2 Localização e caracterização do Experimento 2

Com base no material resultante do Experimento 1 (gemas oriundas dos colmos das parcelas submetidas aos diferentes tratamentos de irrigação testados) foi montado o Experimento 2.

O Experimento 2 foi conduzido no município de Piracicaba – SP, na área de pesquisa do Departamento de Engenharia de Biosistemas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), em ambiente protegido (estufa) com as seguintes coordenadas geográficas: latitude 22° 42’ 32’’ S, longitude 47° 37’ 45’’ W e altitude de 548 m (Figura 14).

Figura 14 - Localização e vista externa do experimento

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo Cwa, isto é, subtropical úmido, com três meses mais secos (junho, julho e agosto), caracterizado por chuvas no verão e seca no inverno. A temperatura média do mês mais quente é superior a 22 °C e a do mês mais frio, inferior a 18 °C.

A estufa apresentava uma cobertura de filme plástico de polietileno transparente, de 150 µm de espessura e laterais fechadas, com tela tipo sombrite com 30% de interceptação. As unidades experimentais (parcelas) foram distribuídas em uma área útil de aproximadamente 160 m², utilizando como estrutura 96 caixas de cimento amianto, com dimensões de 60 cm x 40 cm x 45 cm, distribuídas em quatro faixas espaçadas de 80 cm entre linhas e 50 cm entre caixas, mantendo uma distância de 100 cm das laterais da estufa e suspensas ao solo por dois blocos de concreto.

3.2 Delineamento experimental e tratamentos (Experimento 2)

O delineamento experimental adotado foi em blocos inteiramente aleatorizados, com três blocos completos. Os tratamentos foram distribuídos em esquema fatorial (4x4x4x8), totalizando 511 tratamentos e 1536 parcelas experimentais. Os tratamentos testados foram: lâmina de irrigação ao longo do ciclo, com quatro níveis (Lâmina); variedade comercial de cana-de-açúcar, com oito variedades (Variedade), intensidade do déficit hídrico na fase final do ciclo para maturação da cana-de-açúcar, com quatro estratégias de restrição hídrica (Maturação) e posição da gema ao longo do comprimento do colmo, com quatro posições (Posição). Na Tabela 5 é apresentado o resumo da distribuição dos graus de liberdade para análise de variância e as interações analisadas.

Tabela 5 - Esquema de distribuição dos graus de liberdade (G.L.) para as fontes de variação (F.V.), de acordo com o delineamento experimental e o arranjo de distribuição dos tratamentos.

F.V.	G.L.
MAT	3
VAR	7
LAM	3
POS	3
MAT x VAR	21
MAT x LAM	9
MAT x POS	9
VAR x LAM	21
VAR x POS	21
LAM x POS	9
M x V x L	63
M x V x P	63
M x L x P	27
V x L x P	63
M x V x L x P	189
Tratamentos	511
Blocos	2
Resíduo	1022
Total	1535

Cada unidade experimental continha, inicialmente, oito gemas de cana-de-açúcar, tendo-se um arranjo de duas fileiras de gemas com quatro células, conforme a Figura 15 e 17.

Figura 15 - Unidade Experimental para cada maturação estudada

Foram utilizadas oito variedades, atualmente representativas dos três principais (mais tradicionais) programas de melhoramento do país. Ressalta-se que, atendendo à cláusula terceira do termo de convênio de cooperação firmado entre FAPESP, Odebrecht Agroindustrial e USP (*"Respeitar e fazer respeitar as restrições à divulgação de informações e às limitações impostas por direitos autorais e de propriedade intelectual"*), as variedades foram codificadas aleatoriamente como V1, V2, V3, V4, V5, V6, V7 e V8, respeitando o direito acima descrito. Para o tratamento Lâmina de irrigação ao longo do ciclo (Lâmina), foram definidos quatro níveis: no nível de referência (L100), manteve-se a umidade do solo próxima à capacidade de campo (θ_{cc}), repondo 100% da ETc. Os demais níveis para o tratamento Lâmina (L50, L75 e L125) foram variações na fração aplicada ao longo do tempo, tomando como referência o tratamento L100 (monitoramento via tensiometria), como descrito no item 3.1.

Quanto aos níveis do tratamento intensidade do déficit hídrico na fase final do ciclo para maturação da cana-de-açúcar (Maturação), foi estabelecido um nível de referência (M3), isto é, sem déficit hídrico, mantendo a irrigação sem alterar a lâmina aplicada até a data de colheita do experimento; um nível com um déficit hídrico severo de curta duração, que consiste no corte total da irrigação 15 dias antes do início da colheita, (M4); outro nível com déficit hídrico moderado de longa duração (M1), que consiste em uma leve diminuição da lâmina de referência de forma gradativa durante os últimos 60 dias antes da colheita; e um último nível, com um déficit hídrico intensivo de longa duração (M2), que consiste na diminuição mais severa da lâmina de referência de forma gradativa durante os últimos 60 dias antes da colheita, conforme Barbosa (2015).

Para o fator posição da gema no colmo, a haste utilizada com fonte de propágulo foi dividida em quatro partes (P1 – próximo da superfície do solo, até P4 – próximo ao ápice/meristema), conforme ilustrado na Figura 16. O estudo deste fator tem por objetivo estudar o gradiente de reserva (teores de açúcares, hormônios vegetais, umidade e de minerais), do ápice do colmo (meristema) até a sua base (superfície do solo). Na Figura 17 encontra-se o croqui com a distribuição dos tratamentos, seguindo o delineamento experimental apresentado anteriormente.

Figura 16 - Ilustração da divisão das gemas em posições em relação ao nível do solo

Figura 17 - Croqui do experimento – Detalhamento dos fatores estudados

Para análise de variância dos resultados, foi utilizado o software livre SISVAR (FERREIRA, 2011). As variáveis que apresentaram valores de F significativo, no mínimo 5% de probabilidade na análise de variância, foram submetidas ao teste de médias do tipo Scott-Knott, a um nível de 5% de probabilidade. A independência dos resíduos foi garantida pela casualização

na distribuição dos tratamentos, observada no croqui do experimento. Como não houve efeito multiplicativo (não teve interação) dos blocos com os tratamentos, foi garantida a aditividade dos efeitos do modelo. Para análise de normalidade dos resíduos, foi utilizado o teste de normalidade W de Shapiro-Wilk. Neste caso, não foi necessária a transformação para as variáveis estudadas. Quanto à homogeneidade de variância dos resíduos, Silva (2007) afirma que é a pressuposição usualmente mais crítica, mas que o teste F na análise de variância é muito robusto para situações de modelo estatístico fixo com estrutura balanceada, ou seja, igual número de repetições para as combinações dos níveis dos fatores experimentais.

3.3 Monitoramento climático

Foram monitorados os seguintes elementos climáticos: radiação solar global - Q_g , em $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$, utilizando um piranômetro (LP02-L12 - Campbell Sci.), temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) e umidade relativa do ar (%), utilizando um sensor Vaissala (HMP45C-L12 - Campbell Sci.). Ambos os sensores foram instalados no centro da casa de vegetação e acima do dossel da cultura (Figura 18). Os dados foram armazenados em sistema de aquisição de dados (datalogger – CR1000/Campbell Sci.), com médias de 15 minutos ou integrados a cada 15 minutos.

Figura 18 - Estação meteorológica no interior da casa de vegetação

Para utilização de um parâmetro mais adequado que não determinasse apenas o número de dias (para quantificar não apenas o tempo), mas sim um valor com base na demanda hídrica do período de experimento, foi estimada a evapotranspiração de referência para o interior da estufa (ETo*). Empregou-se o método padrão proposto pela FAO (ALLEN, et al. 1998), conforme a eq. (3), sendo este um valor que integra e "resume" as condições ambientais relacionadas com a demanda hídrica (radiação, temperatura, umidade e vento) de cada dia.

$$ETo = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (DPV)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad (4)$$

Em que:

ETo - evapotranspiração de referência, em mm dia⁻¹;

R_n - saldo de radiação na superfície, em MJ m⁻² dia⁻¹;

G - fluxo de calor no solo, em MJ m⁻² dia⁻¹;

T - temperatura média do ar a 2 m de altura, em °C;

u₂ - velocidade do vento a 2 m de altura, em m s⁻¹;

DPV - déficit de pressão de vapor, em kPa;

Δ - declividade da curva de pressão de vapor, em kPa °C⁻¹; e

γ - constante psicrométrica, em kPa °C⁻¹;

Para o cálculo da ETo*, o fluxo diário de calor no solo (G) é desprezado, pois de acordo com Allen et al. (1998), como sua magnitude é relativamente pequena, ele pode ser desconsiderado para períodos de 24 horas. Como a velocidade do vento no interior da estufa era muito baixa, esse valor foi fixado em 0,5 m s⁻¹; o Boletim FAO 56 recomenda que, em geral, a velocidade do vento a 2 m (u₂) deve ser mantida em um valor mínimo de cerca de 0,5 m.s⁻¹, quando utilizado na equação de ETo. Isso é necessário para explicar os efeitos da instabilidade da camada limite e flutuabilidade do ar, que promovem a troca de vapor à superfície quando o ar está calmo. Ao estabelecer o valor de u₂ em 0,5 m s⁻¹ na equação, melhora-se a precisão da estimativa, nas condições de velocidade do vento muito baixas (ALLEN ET al., 1998).

3.4 Plantio e condução das mudas

Os colmos oriundos do “viveiro de mudas de cana-de-açúcar”, isto é, produto parcial do experimento precursor (Experimento 1), descrito de forma aprofundada por Barbosa (2015), foram transportados para um local onde os propágulos foram preparados para plantio, em feixes identificados, evitando a danificação das gemas. Com o auxílio de uma guilhotina, o colmo principal de cada tratamento a ser estudado foi dividido em quatro partes iguais. Cada $\frac{1}{4}$ de comprimento foi dividido em minitoletes de aproximadamente 4,0 cm, com apenas uma gema. Os minitoletes foram plantados, conforme o material foi disponibilizado, isto é, conforme a colheita das touceiras de cana-de-açúcar foram submetidas aos fatores de LÂMINA e MATURAÇÃO (proposta do Experimento 1). Isto ocorreu no período de 16 a 27 de fevereiro de 2014. Para minimizar os erros experimentais do longo período de colheita/plantio, o experimento foi plantado bloco a bloco.

Considerando o delineamento experimental adotado e a definição de parcela experimental para o Experimento 2, foram utilizadas bandejas plásticas de 32 células, com volume interno de 190,0 cm³ preenchidos com substrato para plantas (Tropstrato[®]), conforme a Figura 20 e Tabela 6.

Tabela 6 – Garantias do substrato utilizado (Tropstrato[®])

Umidade* (% p/p)	CRA* (% p/p)	Densidade* base seca kg/m ³	Densidade* base úmida kg/m ³	pH		CE (mS cm ⁻¹)	
				Proporção		Proporção	
				água:substrato		água:substrato	
				1,5:1	5:1*	1,5:1	5:1*
60	130	200	500	5,8 (±) 0,3	5,8 (±) 0,3	2,0 (±) 0,3	0,5 (±) 0,3

CRA - capacidade de retenção de água. CE - Condutividade Elétrica (mS cm⁻¹)

O sistema de irrigação por microaspersão era composto de linhas laterais instaladas no alto da estufa, aproximadamente 2,4 m acima do solo. O sistema foi constituído de 2 linhas laterais com 12 microaspersores em cada linha espaçados em 2,0 m, sendo que as duas linhas foram instaladas com 3,2 m de espaçamento (Figura 19A). Os microaspersores utilizados foram de o grupo modular (Figura 19B), buscando garantir melhor recobrimento e uniformidade durante a aplicação.

As irrigações das mudas foram realizadas diariamente com microaspersão aérea invertida, de modo a manter a umidade do substrato sempre próxima a uma condição hídrica favorável para o desenvolvimento vegetal. Para tal, o tempo de irrigação foi estabelecido em função do cruzamento das informações de ETo e com informações de consumo hídrico medido por pesagem em plantas controle para variedade (Figura 19C e 19D), de modo a manter o substrato sempre próximo à umidade de capacidade de campo. É importante ressaltar que a lâmina de irrigação não foi diferenciada por variedade, entretanto, foi tomado o cuidado de estar suprindo 100 % o requerimento de irrigação da variedade de maior consumo hídrico.

Figura 19 - Sistema de irrigação por microaspersão. Vista geral das linhas laterais acima do dossel das plantas (A); Detalhe do microaspersor (B). Plantas controle irrigadas por imersão (C) para quantificação do consumo hídrico por variedade por meio de pesagem (D)

Durante o período de condução das mudas, o monitoramento visual era realizado diariamente de modo a identificar possíveis problemas sanitários e nutricionais que pudessem, posteriormente, dificultar o estabelecimento e desenvolvimento. Para este caso, foram necessárias adubações foliares, suprindo as necessidades nutricionais das mudas que não estavam

sendo supridas com o substrato utilizado. Assim, foram preparados 5 litros de calda contendo 35 ml de Concorde[®], 30 ml de Improver[®] e 2,5 ml de Triunfo[®], que foi pulverizado com bomba costal aos 30 dias após o plantio.

Figura 20 – Feixes para o transporte dos colmos com identificação das variedades (A); Colmos após a retirada das folhas e bainhas (B); Guilhotina utilizada para o corte do minitolete (C); Detalhe do minitolete utilizado para o plantio (D); Preenchimento das bandejas com substrato (E); Plantio das gemas nas parcelas experimentais (F).

3.5 Análises das plantas

3.5.1 Pegamento das gemas (PEG)

Para todos os tratamentos, semanalmente foi contado o número de gemas que emergiram. Para tanto, considerou-se gema emergida toda aquela que brotou e atingiu a superfície do solo, conforme a Figura 21.

Figura 21 – Contagem do número de gemas brotadas (A); Caracterização visual de brotação (B); Detalhe para variação de época de brotação entre parcelas (bandejas) (C).

3.5.2 Altura das plantas (ALT), diâmetro do caule (DIAM) e acúmulo de matéria seca na parte aérea (MS-PA)

Ao final do experimento, as plantas foram avaliadas por meio da altura e diâmetro do caule, conforme a Figura 22. Em seguida, as plantas foram coletadas para análise de matéria seca. Após o procedimento da coleta, o material foi levado à estufa com sistema de circulação de ar quente forçado, à temperatura de 65 °C até atingir peso constante, que ocorreu após 72 horas. As massas foram obtidas em balança analítica digital com precisão de 0,01 g.

Figura 22 – Detalhe posicionamento de haste para medida de altura de plantas (A); Posicionamento da folha junto à haste de leitura (B); Aspecto visual das parcelas após 30 dias de plantio (C e D).

3.5.3 Análise do sistema radicular (MS-R)

Para a determinação do peso das raízes (MS-R), as mesmas foram separadas do substrato e lavadas em água corrente. Após a lavagem, foram pesadas em uma balança de precisão e colocadas em um caixa furada de inox juntamente com suas respectivas partes aéreas e submetidas a um processo de secagem, em uma estufa a 60 °C durante 24h, até estabilização do peso.

3.5.4 Estimativa do número de gemas viáveis por hectare (GVH)

Para estimativa do número de gemas, foi utilizado o número de gemas do perfilho principal e volume de água no colmo (obtido por meio da umidade do colmo), extrapolando-o para uma unidade de área padrão (hectare), por meio da informação de produtividade de colmos do “viveiro de mudas” obtidas no Experimento 1, conforme BARBOSA (2015).

De posse da estimativa do número de gemas por hectare, foi estimado o número de gemas viáveis por hectare, utilizando os dados de pegamento de gemas observados no Experimento 2 (item 3.5.1). A fim de verificar a eficácia da extrapolação, foi avaliado o número de perfilhos vivos em cada parcela estudada no Experimento 1.

3.5.5 Produtividade da água para gemas de cana-de-açúcar

A produtividade da água é definida como a razão entre a quantidade de água consumida pela cultura (litros, mm ou m³) e a produção de um determinado produto (unidades – kg, gemas viáveis), sendo um indicador de suma importância para melhorar o uso e gestão dos recursos hídricos (AYARS et al., 1999).

Para calcular a produtividade da água (eficiência no uso da água) para biomassa, foi necessário converter os dados do volume aplicado em cada parcela do Experimento 1 (1,01 m²) em volume por hectare (litros ha⁻¹), simplesmente multiplicando os valores originais por 10000. De posse dos dados de VT_{irrigação} e o dados de GVH, a PAB foi calculada pela Equação 5.

$$PA = \frac{VT_{irrigação}}{GVH} \quad (5)$$

Em que:

PA – produtividade da água para número de gemas viáveis; em litros gema viável⁻¹;

VT_{irrigação} – volume de água aplicada ao longo do ciclo da cultura por hectare; em litros ha⁻¹; e

GVH – número de gemas viáveis por hectare, em número de gemas viáveis ha⁻¹.

3.5.6 Análise econômica de viveiros de mudas de cana-de-açúcar irrigados por gotejamento nas diferentes estratégias de lâminas de irrigação estudadas

Para a realização desta análise, foram utilizados os dados de produtividade de colmos obtidos no Experimento 1, os dados de pegamento de gemas e número de gemas viáveis obtidos no Experimento 2, além dos custos hipotéticos da prática da irrigação. Foi considerado um sistema de irrigação com uma demanda representativa para a região do Estado de GO (seis meses de funcionamento do sistema, necessitando de uma potência para acionamento de motores elétricos de 3cv por hectare irrigado e custo de energia para usos sob tarifa vermelha; além do custo de investimento no equipamento de irrigação por gotejamento de R\$ 13.200,00 por hectare – FRC = 0,17 a.a.).

Deste modo, de posse dos custos estimados pelo AGRIANUAL 2015 (FNP, 2015) para a região estabelecida (Tabela 7), associados aos custos caracterizados acima, estipulou-se o incremento proporcionado por acréscimos oriundos de investimentos ligados à prática de irrigação.

Com estas informações, foram realizadas simulações, utilizando uma planilha eletrônica desenvolvida no Software Microsoft Excel[®], no ensejo de caracterizar o custo de produção de gemas de cana-de-açúcar produzidas em viveiros de mudas sob as diferentes lâminas de irrigação estudadas (quatro estratégias - L50, L75, L100 e L125).

Assim, a análise dos resultados da imposição de diferentes estratégias de lâminas de irrigação foi realizada por meio do cálculo do custo final de produção de uma gema de cana-de-açúcar, considerando os dados obtidos no item 3.5.4.

Tabela 7 - Custo de Produção de cana-de-açúcar para o Estado de Goiás considerando a estimativa para a safra 2014-2015

(continua)

Cana-de-açúcar (GO) - Custo de Produção (R\$ ha⁻¹) - 2014/15					
DESCRIÇÃO	FUND. LAV.			1. CORTE	
	V.U.	Qtde.	Valor	Qtde.	Valor
A - DEPRECIAÇÃO DA FUNDAÇÃO					
Subtotal A					1506,0
B – OPERAÇÕES					
Confecção dos Terraços	166,1	1,4	232,5	0	
Dessecação para plantio	73,4	0,8	55,1	0	
Eliminador de soqueiras	114,1	0,9	102,7	0	
Conservação de carregadores	166,1	0,1	16,6	0,1	16,6
Manutenção das estradas	166,1	0,1	8,3	0,05	8,3
Subsolagem	114,1	1,8	205,3	0	
Calagem ou gesso	111,1	0,3	33,3	0	
Gradagem Aradora	138,4	1,2	159,2	0	
Gradagem niveladora	132,7	1,0	132,7	0	
Quebra-Lombo	68,9	0,5	34,4	0	
Pulverização Herbicida	73,4	1,0	73,4	0,7	51,4
Aplicação de Vinhaça	5,7	0,0	0,0	90	154,4
Sulcação/Adubação	97,4	1,4	136,4	0	
Transporte Mão-de-Obra	4,3	0,1	0,6	0,13	0,6
Distribuição Torta de Filtro	111,1	0,6	66,7	0	
Transporte Insumos	92,5	0,4	37,0	0,4	37,0
Cobrição	69,6	0,6	41,7	0	
Frota de Apoio	92,5	0,1	12,0	0,13	12,0
Aplicação de Inseticida	73,4	0,0	0,0	0,4	29,4
Enleiramento Palha	72,7	0,0	0,0	0,4	29,1
Tríplice Operação	113,9	0,0	0,0	0,5	57,0
Aplicação aérea de Maturador	32,5	0,0	0,0	0,2	6,5
Transporte de Mudas	92,5	3,0	277,4	0	
CORTE, CARREGAMENTO E TRANSPORTE	24,5	0,0	0,0	106	2599,0

Tabela 7 - Custo de Produção de cana-de-áçúcar para o Estado de Goiás considerando a estimativa para a safra 2014-2015 (conclusão)

C - OPERAÇÕES MANUAIS					
Locação Terrações	45,7	1,1	50,3	0	
Amostragem de solo	45,7	0,1	2,3	0	
Plantio	41,9	5,0	209,5	0	
Aceiro (apenas colheita manual)	48,7	0,0	0,0	0	
Queima (apenas colheita manual)	48,7	0,0	0,0	0	
Queima da palha (apenas colheita manual)	48,7	0,0	0,0	0	
Fiscal de Campo	83,8	0,0	1,7	0,017	1,4
Carpa Química (cana-planta)	41,9	1,0	41,9	0	
Carpa Manual Repasse (cana-planta)	41,9	1,8	75,4	0	
Carpa Química (soqueira)	41,9	0,0	0,0	0,8	33,5
Auditoria de Plantio	83,8	0,0	2,8	0	
Auditoria de Colheita	83,8	0,0	0,0	0,028	2,3
Pré-análise da cana	68,6	0,0	0,0	0,08	0,5
Auditoria de vinhaça	83,8	0,0	0,0	0,028	2,3
Auditoria de cultivo	83,8	0,0	0,0	0,033	2,8
Combate Formiga	41,9	0,5	21,0	0,5	21,0
Equipe de entomologia	41,9	1,0	41,9	1	41,9
Fertilizantes e Corretivos	0,0	0,0	892,3	0	
Fertilizante cana-planta (4-20-20)	1195,0	0,5	537,8	0	
Fertilizante soqueira (20-5-20)	1335,0	0,0	0,0	0,5	474,25
Calcário e gesso	160,0	2,0	320,0	0	
Defensivos	0	0,0	723,0	0	
Dessecante pré-plantio - Glifosato	12,0	4,0	48,0	0	
Herbicidas cana-planta	87,5	0,0	0,0	0	
Herbicidas Soqueira	0,0	0,0	0,0	2,64	158,40
Carpa Química - Sencor	0	0,0	0,0	0	
Inseticida	540,0	0,0	0,0	0,6	100,80
Nematicida	0,0	0,0	0,0	0	
Maturador	0,0	0,0	0,0	0,67	105,86
Mudas	74,1	16,0	1185,6	0	
D –ADMINISTRAÇÃO					
Viagens	18,9	1,0	18,9	1	18,9
M.O. Administrativa	253,7	1,0	253,7	1	253,72
Assistência Técnica	10,5	1,0	10,5	1	10,5
Contábil./Escritório	15,7	1,0	15,7	1	15,67
Luz/Telefone	49,7	1,0	49,7	1	49,68
Cons/Deprec Benf	10,7	1,0	10,7	1	10,71
Impostos/Taxas	2,85%		174,9	-	165,626
Custo Total (R\$ ha⁻¹)			6312,79		5977,07

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO (Experimento 2)

4.1 Dados Meteorológicos

Durante o período de condução do experimento (15/02/2014 a 07/04/2014), foi anotada a variação dos dados meteorológicos, conforme a Figura 23. Os dados diários de Temperatura, Umidade Relativa, Radiação Solar e Evapotranspiração de referência estão disponíveis no Apêndice E.

Neste período, o valor máximo de ETo ocorreu no dia 16/03/2014, (4,1 mm dia⁻¹), e o valor mínimo incidiu após 30 dias, no dia 15/04/2014 (1,27 mm dia⁻¹), em função da queda abrupta da radiação solar e temperatura, e consequentemente, elevada umidade relativa do ar. As médias para radiação solar global (Qg), umidade relativa e evapotranspiração foram, respectivamente, 12,30 MJ m⁻² dia⁻¹, 78% e 2,9 mm dia⁻¹.

A temperatura média durante todo o período foi de 24,6 °C, sendo que a máxima das médias ocorreu no dia 21/02/2014 (40,9 °C) e a mínima incidiu no dia 30/04/2014 (11,9 °C). De forma geral, o período apresentou condições de temperaturas favoráveis à cultura, sendo que para um ótimo crescimento, o ambiente deve apresentar médias de temperaturas diurnas entre 22 e 30 °C (BARBIERI E VILLA NOVA, 1977 apud BEAUCLAIR; SCARPARI, 2007).

Whiteman et al. (1963), também estudando os efeitos da temperatura, luz e água na brotação e no desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar, enfatizaram que a temperatura ideal está em torno de 30 °C, com depressão severa do crescimento abaixo de 22 °C e praticamente nenhum crescimento na faixa de 10-16 °C.

Figura 23 - Comportamento diário das variáveis meteorológicas; temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin), temperatura média (Tmed), umidade relativa máxima (URmax), umidade relativa mínima (URmin), umidade relativa média (URmed), radiação solar (Qg) e evapotranspiração de referência estimada (ETo).

A temperatura exerce influência não só na maturação como no crescimento dos colmos, sendo que o crescimento torna-se lento em temperaturas abaixo de 25 °C e praticamente nulo para valores inferiores a 20 °C. Quanto a temperaturas máximas, o crescimento torna-se lento a partir de 35 °C e nulo acima de 38 °C. Com isso, assume-se que a temperatura ideal para o crescimento da cana-de-açúcar está na faixa entre 25 e 35 °C (RODRIGUES, 1995).

4.2. Respostas biométricas no desenvolvimento inicial de mudas de cana-de-açúcar

Nos resultados da análise de variância para variáveis de desenvolvimento inicial (Tabela 8), observa-se que houve diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade para todas as variáveis (Altura, Diâmetro, MS-PA, MS-R, RPA-R) quando comparadas as maturações e as variedades. Comparando-se as posições, essa diferença não se repetiu para Altura de plantas (ALT). Já em relação às lâminas, não houve diferença significativa para pegamento (PEG), ALT e matéria seca da parte aérea (MS-PA).

Não houve interação tripla para nenhuma das variáveis, porém as variáveis que se diferenciaram com o tratamento das variedades apresentaram interação entre maturação, exceto quanto ao PEG. Para os resultados das maturações, houve interação para ALT e diâmetro das plantas (DIAM) com as lâminas estudadas (1% de probabilidade) e com as posições das gemas para ALT e MS-PA a 5% de probabilidade. As variedades interagem significativamente com as lâminas de irrigação quanto ao PEG e MS-R a 5% de probabilidade.

Tabela 8 - Resumo da análise de variância referente às variáveis biométricas de mudas de cana-de-açúcar submetidas aos tratamentos testados

FV	GL	Estatística F					
		Pegamento (%)	Altura (cm)	Diâmetro (mm)	MS-PA (g)	MS-R (g)	RPA-R
Maturação	3	3,87**	37,91**	63,37**	64,95**	9,27**	18,69**
Variedade	7	9,07**	35,08**	14,63**	15,19**	6,53**	3,20**
Lâmina	3	2,25 ^{ns}	0,47 ^{ns}	3,77*	2,46 ^{ns}	11,14**	3,52*
Posição	3	16,37**	3,37*	20,42**	10,85**	30,59**	4,13**
Maturação x Variedade	21	1,03 ^{ns}	7,11**	3,98**	5,72**	2,86**	3,68**
Maturação x Lâmina	9	1,50 ^{ns}	2,24*	1,92*	1,54 ^{ns}	0,95 ^{ns}	1,61 ^{ns}
Maturação x Posição	9	1,03 ^{ns}	4,09**	1,44 ^{ns}	2,62**	1,05 ^{ns}	1,31 ^{ns}
Variedade x Lâmina	21	1,77*	1,25 ^{ns}	0,92 ^{ns}	1,10 ^{ns}	0,48*	0,96 ^{ns}
Variedade x Posição	21	1,13 ^{ns}	0,73 ^{ns}	1,20 ^{ns}	0,94 ^{ns}	0,81 ^{ns}	0,55 ^{ns}
Lâmina x Posição	9	0,87 ^{ns}	1,46 ^{ns}	0,77 ^{ns}	0,45 ^{ns}	1,53 ^{ns}	0,61 ^{ns}
Maturação x Variedade x Lâmina	63	1,10 ^{ns}	0,81 ^{ns}	0,91 ^{ns}	1,12 ^{ns}	0,73 ^{ns}	0,87 ^{ns}
Maturação x Variedade x Posição	63	1,15 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,46 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,67 ^{ns}
Maturação x Lâmina x Posição	27	0,77 ^{ns}	0,72 ^{ns}	0,51 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,56 ^{ns}
Variedade x Lâmina x Posição	63	0,93 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,54 ^{ns}
Maturação x Variedade x Lâmina x Posição	189	0,88 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,62 ^{ns}
Tratamentos	511	1,24**	1,57**	1,42**	1,51**	1,05**	0,99 ^{ns}
Blocos	2	6002,79**	69,97**	65,14**	79,03**	3,38*	16,65**
Resíduo	1022						
Total	1535						
CV (%)		14,75	18,23	18,26	18,71	21,62	24,52

* Significativo a 5% de probabilidade, ** Significativo a 1% de probabilidade, ^{ns}: não significativo.

4.2.1 Pegamento das gemas de cana-de-açúcar

A gema pode ser considerada um colmo em estado latente e, quando submetida às condições favoráveis, torna-se ativa, ocorrendo seu crescimento e desenvolvimento devido à presença de reservas nutricionais, ativação de enzimas e reguladores de crescimento.

O valor médio de pegamento para todo o experimento foi de 93,45%. Analisando individualmente os tratamentos e seus desdobramentos, houve diferença significativa. Dentre as estratégias de maturações estudadas, destacam-se as M1 e M2, que promoveram um maior pegamento das gemas, 95,38 e 94,40%, respectivamente. A estratégia de déficit mais intenso promoveu um menor pegamento, podendo compará-la ao abastecimento hídrico pleno às plantas no viveiro de mudas.

Ao avaliar os efeitos simples de cada fator, observa-se que a maturação, a variedade e a posição das gemas influenciaram na brotação e na emergência das mudas de cana-de-açúcar. Nota-se que o manejo de déficit na maturação da cana-de-açúcar em viveiros de mudas, a variedade adotada e a idade do propágulo influenciam no início dos processos fisiológicos, que procedem a emergência do broto (Tabela 9).

Tabela 9 - Análise de médias da porcentagem de pegamento de gemas de cana-de-açúcar aos 30 DAP para os diferentes fatores estudados

Tratamentos		Pegamento (%)	
MATURAÇÃO	M1	95,38	a
	M2	94,40	a
	M3	92,38	b
	M4	92,84	b
POSIÇÃO	P1	89,71	c
	P2	95,70	a
	P3	93,75	b
	P4	95,83	a
C.V. (%)		14,75	

*Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott com um nível nominal de significância (α) de 5%.

Em relação à posição das gemas, isto é, em relação à idade de formação do propágulo, observa-se que as gemas localizadas na porção média inferior da touceira têm maior capacidade de pegamento, juntamente com aquelas próximas do ápice (P2 e P4). Gemas

oriundas destas posições têm em média um pegamento 6% maior comparado às gemas próximas à superfície do solo, provavelmente devido à menor quantidade de reguladores de crescimento.

A análise de variância para este parâmetro indica que existe dependência entre as variedades e lâmina de irrigação, havendo interação significativa (Tabela 10). As variedades V4, V5 e V7 diferiram significativamente das demais nas lâminas L50 e L100, merecendo destaque na L50 a V4 e na L100 a V7, com 100 e 99% de pegamento respectivamente. Na L125, as variedades estudadas não diferiram entre si e na L75, ressalta-se o baixo pegamento das variedades V2 e V8, que se diferenciaram em relação às demais.

Tabela 10 - Análise de médias da porcentagem de pegamento de gemas de cana-de-açúcar em função das variedades e da lâmina de irrigação estudadas

Variedades	Lâmina de Irrigação			
	L50	L75	L100	L125
V1	92,7 bA	96,9 aA	89,6 bA	92,8 aA
V2	90,6 bB	87,5 bB	90,1 bB	95,3 aA
V3	92,2 bA	96,4 aA	84,9 bB	91,7 aA
V4	100 aA	98,4 aA	96,9 aA	96,4 aA
V5	94,8 aA	97,4 aA	97,9 aA	95,3 aA
V6	88,5 bA	94,3 aA	91,2 bA	91,7 aA
V7	97,4 aA	96,4 aA	99,0 aA	97,4 aA
V8	90,6 bA	91,2 bA	90,1 bA	94,8 aA

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott com um nível nominal de significância (α) de 5%.

Segundo LANDELL (2013), vários fatores podem interferir na brotação, dentre eles aspectos ambientais e genéticos. Porém, em um período de aproximadamente 60 dias, as reservas dos rebolos são fundamentais para o estabelecimento da muda. Ainda, segundo Aude (1993), a brotação das gemas é um dos principais processos e requer maior atenção, pois é nesta fase que acontece a determinação da futura população de plantas no campo, isto é, o estande de plantas por unidade de área (ocorre de 15 a 20 dias após o plantio).

4.2.2 Altura das mudas de cana-de-açúcar

Ao avaliar os efeitos simples de cada fator, observa-se que, para as lâminas estudadas, não há diferença significativa na altura das mesmas. Em relação ao nível de déficit hídrico adotado no final do ciclo para induzir a maturação dos colmos, foi observado efeito significativo do M4 em relação às estratégias M1, M2 e M3, reduzindo em média 11% a altura das plantas (Tabela 11). Existe diferença significativa para a posição do propágulo em relação ao dossel, destacando a P3, com um valor médio de 99,1 cm (terceiro quarto - próximo ao ápice das touceiras).

Tabela 11 - Análise de médias de altura de mudas de cana-de-açúcar aos 30 DAP para os diferentes fatores estudados

Tratamentos		Altura (m)	
MATURAÇÃO	M1	0,98	a
	M2	0,99	a
	M3	1,01	a
	M4	0,88	b
LÂMINA	L50	0,97	a
	L75	0,97	a
	L100	0,97	a
	L125	0,97	a
POSIÇÃO	P1	0,97	b
	P2	0,96	b
	P3	0,99	a
	P4	0,96	b
C.V. (%)		18,23	

*Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott com um nível nominal de significância (α) de 5%.

As variedades estudadas podem ser divididas em quatro classes de significância estatística, ao analisar a variável altura de plantas (V1 e V2; V3 e V6; V4 e V5; e V7 e V8; em ordem decrescente de altura), conforme a Figura 24.

Figura 24 - Altura de mudas de gemas de cana-de-açúcar em relação às oito variedades estudadas

Conforme mencionado, foi observado o efeito significativo do M4 em relação às estratégias M1, M2 e M3. No entanto, ao visualizar o desdobramento das maturações dentro de cada variedade, é possível verificar que a variedade V1 não sofreu efeito significativo em relação à estratégia de manejo de maturação adotado quanto à altura de plantas. Nesta variedade, o melhor desempenho ocorreu para as estratégias M1 e M4. As menores alturas foram observadas para as variedades V7 e V8 em M4 (Tabela 12).

Tabela 12 - Análise de médias de altura de mudas de gemas de cana-de-açúcar em função das maturações e variedades estudadas

MAT	Variedades															
	V1		V2		V3		V4		V5		V6		V7		V8	
M1	1,07	aA	1,07	bA	1,03	aA	0,98	aB	0,88	cC	0,98	bB	0,90	aC	0,95	aB
M2	1,02	aB	1,07	bA	1,06	aA	0,97	aC	1,01	aB	1,11	aA	0,90	aD	0,85	bD
M3	1,09	aB	1,22	aA	1,00	bC	0,96	aC	0,94	bC	1,10	aB	0,87	aD	0,92	aD
M4	1,11	aA	0,83	cC	0,95	bB	0,89	bB	0,86	cC	0,84	cC	0,79	bC	0,83	bC

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott com um nível nominal de significância (α) de 5%.

Em relação às lâminas de irrigação estudadas, foi observado um efeito significativo para a estratégia de maturação M3 na lâmina L100, reduzindo em torno de 7,5% a altura das plantas. O melhor desempenho foi observado nas maturações M3, exceto para esta lâmina (L100), conforme a Tabela 13.

Tabela 13 - Análise de médias da altura de mudas de gemas de cana-de-açúcar em função das maturações e lâminas de irrigação estudadas

MAT	Lâmina de Irrigação							
	L50		L75		L100		L125	
M1	0,97	bA	1,00	aA	0,99	aA	0,97	aA
M2	0,98	bA	1,01	aA	1,00	aA	1,00	aA
M3	1,03	aA	1,03	aA	0,95	bB	1,03	aA
M4	0,89	cA	0,88	bA	0,92	bA	0,87	bA

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott com um nível nominal de significância (α) de 5%.

Na P3 está o melhor desempenho das gemas ao longo do colmo, quando analisado o crescimento em altura das plantas. No segundo manejo de déficit mais rigoroso na fase de maturação (M2), não há diferença significativa entre as gemas a partir da base até o ápice, seguido pelo déficit mais intenso na M4, que detém o mesmo comportamento, conforme a Tabela 14.

Tabela 14 - Análise de médias da altura de mudas de gemas de cana-de-açúcar em função das maturações e posições das gemas estudadas

MAT	Posição							
	P1		P2		P3		P4	
M1	1,01	aA	0,96	bB	1,00	aA	0,96	bB
M2	0,99	aA	0,99	bA	1,03	aA	0,99	aA
M3	1,05	aA	1,03	aA	1,02	aA	0,94	bB
M4	0,84	bB	0,88	cA	0,92	bA	0,92	bA

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott com um nível nominal de significância (α) de 5%.

4.2.3 Matéria Seca da Parte Aérea (MS-PA) e Matéria Seca da Raiz (MS-R) de mudas de cana-de-açúcar

A variável massa seca da parte aérea (MS-PA) das plantas representa a somatória da matéria seca dos perfilhos, limbo foliar total, bainha, desponte e colmo, de cada parcela. O valor médio para MS-PA foi de 21,89 g por parcela, em um total de quatro plantas por parcela. Os efeitos simples de cada fator para a MS-PA e MS-R podem ser observados na Tabela 15.

Tabela 15 - Análise de médias de Matéria Seca da Parte Aérea (MS-PA) e Matéria Seca da Raiz (MS-R) de mudas de cana-de-açúcar aos 30 DAP para os diferentes fatores estudados

Tratamentos		MS-PA (g)		MS-R (g)	
MATURAÇÃO	M1	21,93	c	22,90	a
	M2	22,74	b	22,00	b
	M3	23,39	a	21,64	b
	M4	19,53	d	21,16	b
VARIEDADE	V1	23,61	a	23,03	a
	V2	22,65	b	21,28	b
	V3	22,35	b	23,50	a
	V4	22,23	b	21,55	b
	V5	21,63	b	21,67	b
	V6	22,00	b	21,96	b
	V7	20,94	c	21,10	b
	V8	19,78	d	21,33	b
LÂMINA	L50	21,57	a	20,84	c
	L75	22,33	a	22,06	b
	L100	21,96	a	22,78	a
	L125	21,73	a	22,03	b
POSIÇÃO	P1	21,49	b	21,48	b
	P2	22,45	a	22,76	a
	P3	22,52	a	23,22	a
	P4	21,14	b	20,25	c
C.V. (%)		18,71		21,62	

*Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott com um nível nominal de significância (α) de 5%.

Analisando a diferença no acúmulo de biomassa entre os tratamentos, é importante ressaltar que há diferença significativa para a MS-PA para a posição da gema no dossel na ordem de 5,4% comparando as posições P2 e P3 em relação às posições P1 e P4. O mesmo é repetido para a MS-R, com incremento de 9,2%.

Todas as estratégias de maturação diferem entre si significativamente para a variável MS-PA (M3, M2, M1 e M4), variando entre 23,39 e 19,53 g por parcela.

Para as variedades, observa-se uma maior estabilidade de MS-PA para a variedade V1, não diferindo em relação às maturações testadas. Em seguida, as variedades V2, V3, V4, V5 e V6 têm comportamento próximo, separando das variedades V7 e V8, que diferem entre si (redução de 10% na MS-PA entre V7 e V8). Analisando as variedades dentro das maturações, é importante destacar o acúmulo de matéria seca da variedade V2 na M3 de 26,9 g, frente a 17,6 g na M4. A variedade V8 tem um desempenho inferior quando comparada às demais, principalmente nas maturações M4 e M2, conforme a Tabela 16.

Tabela 16 - Análise de médias da massa seca da parte aérea (MS-PA) para mudas de cana-de-açúcar em função das maturações e lâminas de irrigação estudadas

MAT.	Variedades															
	V1		V2		V3		V4		V5		V6		V7		V8	
M1	23,4	aA	22,2	cA	23,0	aA	22,9	aA	21,4	bB	19,9	bB	21,7	aB	20,9	aB
M2	23,4	aA	23,9	bA	23,6	aA	22,4	aB	22,3	aB	24,4	aA	22,3	aB	19,6	aC
M3	24,1	aB	26,9	aA	22,9	aC	23,3	aC	22,8	aC	24,9	aB	20,9	aD	21,2	aD
M4	23,6	aA	17,6	dC	19,9	bB	20,3	bB	20,1	bB	18,8	bB	18,9	bB	17,3	bC

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott com um nível nominal de significância (α) de 5%.

Estudando o efeito das maturações dentro das posições das gemas no colmo, observa-se que nas posições P2 e P3, o comportamento é semelhante, com maior acúmulo de MS-PA para a maturação M3. Na P3, a M2 não difere significativamente da M3 (Tabela 17). O menor acúmulo de MS-PA é oriundo de gemas próximas à superfície do solo P1, sendo bastante influenciadas pelas estratégias de maturação (M1, M2 e M4).

Tabela 17 - Análise de médias do massa seca da parte aérea (MS-PA) para mudas de cana-de-açúcar em função das maturações e lâminas de irrigação estudadas

MAT	Posição							
	1		2		3		4	
M1	22,1	bA	22,1	bA	22,3	bA	21,2	bA
M2	21,8	bB	23,1	bA	23,6	aA	22,5	aB
M3	23,5	aA	24,6	aA	24,0	aA	21,5	bB
M4	18,5	cB	20,0	cA	20,2	cA	19,4	cA

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott com um nível nominal de significância (α) de 5%.

O cenário de diferenças entre as maturações para MS-PA (Tabela 15) não foi observado para a MS-R (Tabela 18), onde em média somente a M1 diferiu estatisticamente em relação às demais maturações estudadas.

Tabela 18 - Análise de médias para massa seca da raiz (MS-R) para mudas de cana-de-açúcar em função das maturações e variedades estudadas

MAT.	Variedades															
	V1		V2		V3		V4		V5		V6		V7		V8	
M1	23,9	aB	21,2	aC	26,1	aA	23,4	aB	22,5	aC	21,2	aC	23,6	aB	21,4	aC
M2	25,4	aA	21,8	aB	22,9	bB	20,9	bC	21,3	bB	22,6	aB	19,5	bC	21,5	aB
M3	21,5	bA	21,2	aA	22,8	bA	21,3	bA	22,6	aA	22,5	aA	20,6	bA	20,6	aA
M4	21,3	bA	21,0	aA	22,2	bA	20,6	bA	20,3	bA	21,5	aA	20,6	bA	21,8	aA

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knot com um nível nominal de significância (α) de 5%.

Porém, ao relacionar as variedades com as maturações estudadas, a M1 não difere das demais para V2, V6 e V8. Nesta comparação, somente V3, V4 e V7 que diferiram estatisticamente das demais maturações.

A estratégia de fornecimento de água no viveiro de mudas promove diferenças a nível significativo para MS-R, sendo que 50% de reposição da lâmina necessária reduz em média 10% no acúmulo de MS-R para L75 e L125 e 10,4% para L100 (Tabela 19).

Avaliando o efeito das variedades nas lâminas de irrigação para a variável MS-R, destaca-se o pior desempenho entre as variedades para a menor lâmina de irrigação. Significa que tem maior restrição na disponibilidade hídrica às plantas, o que as impede de expressar seu potencial máximo de acúmulo de reservas. Dentro das posições das gemas no dossel, observa-se que nas posições P2 e P3, o comportamento é semelhante. De forma individual, a V3 e V1 têm as maiores médias de MS-R, indicando um ótimo potencial de enraizamento.

Tabela 19 - Análise de médias para massa seca da raiz (MS-R) para mudas de cana-de-açúcar em função das variedades e lâminas de irrigação estudadas

Variedades	Lâmina de Irrigação							
	L50		L75		L100		L125	
V1	22,3	aA	23,4	aA	23,6	aA	22,8	aA
V2	19,5	bB	21,4	bA	22,4	bA	21,7	aA
V3	22,2	aA	23,7	aA	24,8	aA	23,3	aA
V4	20,8	bA	21,6	bA	21,5	bA	22,3	aA
V5	20,6	bA	22,1	bA	22,8	bA	21,2	aA
V6	20,3	bB	22,4	aA	23,1	aA	22,0	aA
V7	20,2	bA	21,0	bA	21,6	bA	21,7	aA
V8	20,8	bA	20,9	bA	22,3	bA	21,3	aA

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knot com um nível nominal de significância (α) de 5%.

Os valores de matéria seca do sistema radicular indicam que os níveis de déficit hídrico na maturação reduzem a quantidade total de raízes, à medida que se eleva o nível do déficit.

A maior *relação raiz / parte aérea* também pode ser atribuída aos níveis de ácido abscísico (ABA). Sob condições de desidratação, quando os níveis de ABA estão altos, o hormônio endógeno exerce um forte efeito positivo no crescimento da raiz por suprimir a produção de etileno, e um leve efeito negativo no crescimento da parte aérea. O efeito geral é um aumento marcante da *razão raiz / parte aérea* em baixos potenciais de água, o qual, juntamente com o efeito do ABA no fechamento estomático, auxilia a planta a enfrentar o estresse hídrico (TAIZ; ZEIGER, 2004).

4.3 Número de gemas viáveis por hectare (GVH)

Na estimativa do número de gemas viáveis foi utilizado o número de gemas do perfilho principal, volume de água no colmo (obtido por meio da umidade do colmo) em função do volume total da haste e a porcentagem de pegamento das gemas, extrapolando-o para área (hectare) e utilizando a produtividade de colmos obtida por BARBOSA (2015). Nas Figuras 25 e 26 são apresentados os resultados da umidade do colmo e da produtividade dos tratamentos no “viveiro de mudas” (Experimento 1), respectivamente.

Figura 25 - Gráfico box-plot para umidade do colmo para as 8 variedades estudadas dentro de cada tratamento de lâmina

Para a umidade dos colmos, o valor médio encontrado foi de 75,67%. A variedade V6 foi a que teve os menores valores, em média 73,9% de umidade. Assim, os resultados ficaram inversos aos encontrados para fibra e ATR, pois se os colmos são formados por fibra, açúcares e água, uma variedade que apresenta baixo teor de umidade terá alto teor de fibra e/ou açúcares (BARBOSA, 2015).

Figura 26 - Gráfico box-plot para produtividade de colmos por hectare para as 8 variedades estudadas dentro de cada tratamento de lâmina

Barbosa (2015) também encontrou diferenças estatísticas referentes à produtividade entre as maturações, indicando que o manejo sem redução da irrigação antes do corte (M3) resultou na maior produtividade média, com aproximadamente $177,0 \text{ t ha}^{-1}$, enquanto os demais tratamentos não se diferenciaram e teve, em média, produtividade de $160,0 \text{ t ha}^{-1}$.

Quanto às diferenças entre variedades, destacou-se a V4 com maior produtividade, $202,9 \text{ t ha}^{-1}$, seguida por V1 e V2 ($184,7$ e $183,1 \text{ t ha}^{-1}$, respectivamente), posteriormente um grande grupo formado por V3, V5, V6 e V7 ($158,1$, $151,8$, $150,7$ e $151,0 \text{ t ha}^{-1}$, respectivamente) e, por fim, V8 com $131,5 \text{ t ha}^{-1}$.

4.3.1 Número de perfilhos vivos (Experimento 1)

O número de perfilhos vivos é reflexo do potencial de exploração do propágulo de cana-de-açúcar na área de cultivada ao longo de um ciclo, tendo relação com o arranjo espacial de plantio e características da interação genótipo (variedade) e ambiente (disponibilidade hídrica – lâmina de irrigação). Na Tabela 20 está apresentado o resultado da análise de variância para os fatores e níveis estudados para viveiros de mudas de cana-de-açúcar (Experimento 1).

Tabela 20 - Resumo da análise de variância referente ao número de perfilhos vivos de cana-de-açúcar

FV	GL	Estatística F
Maturação	3	0,99 ^{ns}
Variedade	7	115,3**
Lâmina	3	44,61**
Maturação x Variedade	21	3,57**
Maturação x Lâmina	9	0,88 ^{ns}
Variedade x Lâmina	21	1,35 ^{ns}
Maturação x Variedade x Lâmina	63	1,02 ^{ns}
Tratamentos	511	6,33**
Blocos	2	0,44 ^{ns}
Resíduo	1022	
Total	1535	
CV (%)		15,28

* Significativo a 5% de probabilidade, ** Significativo a 1% de probabilidade, ^{ns}: não significativo.

Observa-se que houve diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade, quando comparadas as lâminas e variedades. Já em relação às maturações, não houve diferença significativa do número de perfilhos vivos observados. Isto pode ser justificado pelo fato de todos os níveis de maturação estudados terem se iniciado após 100 dias da formação do viveiro, isto é, durante o período crítico para o perfilhamento das touceiras. Não houve imposição de estratégias de maturação, sendo que no período imposto, nenhuma das estratégias de maturação promoveu redução do número de perfilhos vivos.

Não houve interação tripla para esta variável, porém houve interação de maturação com as lâminas de irrigação estudadas, necessitando de desdobramento para um estudo mais aprofundado dos resultados. Para esta variável, foi observado um coeficiente de variação aceitável (15,28%).

Ao avaliar os efeitos simples de cada fator, observa-se que, para as lâminas estudadas, foi observado efeito significativo da L100 em relação às estratégias L125, L75 e L50, reduzindo até 34% (L50) o número de perfilhos vivos (Tabela 21).

Entre as estratégias L125 e L75, existe uma redução significativa de 5,7% ao adotar L75 em relação a L125, inferindo que uma estratégia de irrigação que varie a porcentagem da lâmina de irrigação plena (L100) em detrimento de uma lâmina fixa de reposição (L75) é uma alternativa válida, considerando que ao final do ciclo ambas têm consumo de água semelhantes.

Tabela 21 - Análise de médias do número de perfilhos vivos de cana-de-açúcar para os diferentes fatores estudados

Tratamentos		Perfilhos Vivos (unidades)	
MATURAÇÃO	M1	7,26	a
	M2	7,40	a
	M3	7,54	a
	M4	7,39	a
VARIEDADE	V1	8,08	b
	V2	9,08	a
	V3	5,83	d
	V4	8,10	b
	V5	7,29	c
	V6	5,98	d
	V7	7,29	c
	V8	7,50	c
LÂMINA	L50	5,86	d
	L75	7,21	c
	L100	8,86	a
	L125	7,65	b
CV (%)		15,28	

*Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott com um nível nominal de significância (α) de 5%.

Conforme mencionado, de forma isolada não foi observado efeito significativo entre as estratégias de maturação. Porém, ao visualizar o desdobramento das maturações dentro de cada lâmina de irrigação, é possível verificar que a L75 sofre efeito significativo em relação à estratégia de manejo de maturação adotado quanto à altura de plantas. Foi observada nesta lâmina uma redução média no número de perfilhos vivos de 14% da M1 com as demais estratégias de maturação. Também existem diferenças entre as maturações para a L100, sendo a M3 estatisticamente superior em relação às demais (M1, M2 e M4), conforme a Tabela 22.

Tabela 22 - Análise de médias do número de perfilhos vivos de cana-de-açúcar em função das variedades e lâminas de irrigação estudadas

MAT	LÂMINA DE IRRIGAÇÃO			
	50%	75%	100%	125%
M1	6,17 aC	6,42 bC	8,79 bA	7,67 aB
M2	5,54 aC	7,83 aB	8,75 bA	7,46 aB
M3	5,75 aC	7,33 aB	9,46 aA	7,63 aB
M4	6,00 aC	7,25 aB	8,46 bA	7,83 aB

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott com um nível nominal de significância (α) de 5%.

Analisando o efeito das lâminas em cada estratégia de maturação, é possível afirmar que, exceto para M1, em todas as estratégias de maturação não existe diferença significativa entre as lâminas de irrigação L75 e L125, corroborando com os resultados de consumo d'água observado no Experimento 1. Estes resultados corroboram com Simões Neto (1986) que afirma que a quantidade de reserva colmos de cana-de-açúcar pode promover incrementos no número de perfilhos.

4.3.2 Estimativa do número de gemas viáveis de cana-de-açúcar por hectare (NGV)

Nos resultados da análise de variância para o número de gemas viáveis por hectare (Tabela 23), observa-se que houve diferença significativa a um nível de 1% de probabilidade quando se comparam as maturações, variedades e lâmina.

Não houve interação tripla para esta variável, porém o tratamento de maturações interage com as variedades.

Tabela 23 - Resumo da análise de variância referente à produção de gemas viáveis de cana-de-açúcar por hectare em relação aos tratamentos testados

FV	GL	Estatística F
Maturação	3	5,38**
Variedade	7	69,8**
Lâmina	3	12,9**
Maturação x Variedade	21	2,51**
Maturação x Lâmina	9	0,62 ^{ns}
Variedade x Lâmina	21	0,71 ^{ns}
Maturação x Variedade x Lâmina	63	0,68 ^{ns}
Tratamentos	511	3,22**
Blocos	2	0,3 ^{ns}
Resíduo	1022	
Total	1535	
CV (%)		25,48

* Significativo a 5% de probabilidade, ** Significativo a 1% de probabilidade, ^{ns}: não significativo.

O valor médio para NGV foi de 2178,65 mil gemas viáveis por hectare de cana-de-açúcar cultivada. Os efeitos simples de cada fator para o número de gemas viáveis por hectare (GVH) podem ser observados na Tabela 24.

Tabela 24 - Análise de médias de gemas viáveis de cana-de-açúcar por hectare para os diferentes fatores estudados

Tratamentos		NGV (gemas ha ⁻¹)	
MATURAÇÃO	M1	2.105.000	b
	M2	2.077.000	b
	M3	2.368.000	a
	M4	2.164.000	b
VARIEDADE	V1	2.406.001	a
	V2	2.491.001	a
	V3	2.043.001	b
	V4	2.621.001	a
	V5	2.004.000	b
	V6	2.044.001	b
	V7	2.006.000	b
	V8	1.810.000	b
LÂMINA	L50	1.591.001	c
	L75	2.117.000	b
	L100	2.741.001	a
	L125	2.263.000	b
C.V. (%)		25,48	

*Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott com um nível nominal de significância (α) de 5%.

Para o número de gemas viáveis por hectare em relação ao fator maturação, existem diferenças significativas entre todas as estratégias de déficit adotadas na fase de maturação com a manutenção da lâmina, que atende às exigências hídricas da cultura até a colheita (L100). Neste cenário, a adoção dos tratamentos de maturação pode reduzir em média 11% o número de gemas viáveis por hectare.

Em relação às variedades estudadas, destacam-se as variedades V1, V2 e V4, com um grande número de gemas viáveis por unidade de área, diferenciando-se das demais variedades significativamente, na ordem de 21%. Para uma melhor análise dos resultados em relação às variedades, foi confeccionado um gráfico Box-plot (Figura 27), devido à separação das variedades em somente dois grupos, e por ter um CV (25,48%), considerado alto para os padrões do experimento.

Figura 27 - Gráfico box-plot para o número de gemas viáveis de cana-de-açúcar por hectare para as 8 variedades estudadas dentro de cada tratamento de lâmina

O número de gemas por hectare foi uma das variáveis com maior coeficiente de variação, 25,48%, muito em função da variabilidade dos dados que, de modo geral, foi mais influenciado pela lâmina L100 e L125, nas variedades V5, V6 e V7. A V6 na L100 teve a maior variação entre todas as variedades, com valores variando de 1.794.001 a 5.256.001 gemas viáveis por hectare.

Em relação ao efeito simples da lâmina de irrigação, há diferenças significativas entre as lâminas estudadas, sendo a L100 a que proporciona o maior número de GVH (2.741.000,90 gemas ha⁻¹), isto é, 42% mais produtiva em relação a L50%. As lâminas L75 e L125 não diferem entre si, com uma média de 2.190.000 gemas ha⁻¹.

As maturações interagem com a lâmina de irrigação adotada, sendo que para viveiros de mudas de cana-de-açúcar, submetidos a uma lâmina L100, recomenda-se a estratégia de maturação M3, isto é, a irrigação plena até a colheita diferencia-se estatisticamente em relação à M1, M2 e M4. Para L50, L75 e L125, o manejo da maturação não influencia no número de GVH (Tabela 25).

Tabela 25 - Análise de médias para o número de gemas viáveis de cana-de-açúcar por hectare (NGV) em função das maturações e lâminas de irrigação estudadas

MAT	Lâmina de Irrigação							
	L50		L75		L100		L125	
1	1.531.000	aC	1.937.001	aB	2.624.001	bA	2.327.000	aA
2	1.554.000	aC	2.032.000	aB	2.634.000	bA	2.088.000	aB
3	1.671.000	aC	2.327.000	aB	3.237.001	aA	2.236.000	aB
4	1.610.001	aB	2.172.001	aA	2.470.001	bA	2.401.000	aA

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott com um nível nominal de significância (α) de 5%.

4.4 Produtividade da água para gemas viáveis de cana-de-açúcar

Nos resultados da análise de variância para produtividade da água (Tabela 26), observa-se que houve diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade, para as lâminas de irrigação estudadas. Comparando-se as variedades e estratégias de maturação estudadas, não há diferenças significativas entre os níveis testados.

Não houve interação tripla para nenhuma das variáveis, sendo que para esta variável foi observado um coeficiente de variação aceitável (25,24%).

Tabela 26 - Resumo da análise de variância referente à produtividade da água para gemas viáveis de cana-de-açúcar em relação aos tratamentos testados

FV	GL	Estatística F
Maturação	3	0,79 ^{ns}
Variedade	7	0,24 ^{ns}
Lâmina	3	2,42*
Maturação x Variedade	21	1,56 ^{ns}
Maturação x Lâmina	9	0,82 ^{ns}
Variedade x Lâmina	21	0,77 ^{ns}
Maturação x Variedade x Lâmina	63	0,77 ^{ns}
Tratamentos	511	0,91 ^{ns}
Blocos	2	0,28 ^{ns}
Resíduo	1022	
Total	1535	
CV (%)		25,24

* Significativo a 5% de probabilidade, ** Significativo a 1% de probabilidade, ^{ns}: não significativo.

Na Tabela 27 são apresentados os resultados de produtividade da água para um dos fatores estudados. Para a produtividade da água na produção de gemas viáveis de cana-de-açúcar foi observado um valor médio de 3,25 litros de água para produzir uma gema viável.

Analisando o efeito para cada uma das oito variedades estudadas, é possível estatisticamente classificá-las em dois grupos. Um grupo mais eficiente no uso da água para produção de gemas viáveis (V4, V6 e V8) e um grupo menos eficiente (V1, V2, V3, V5 e V7).

Tabela 27 - Análise de médias de produtividade da água gemas viáveis de cana-de-açúcar para os diferentes fatores estudados

		Produtividade da Água (litros gema ⁻¹)	
MATURAÇÃO	M1	3,11	a
	M2	3,07	a
	M3	2,96	a
	M4	3,08	a
VARIEDADE	V1	3,18	b
	V2	3,06	b
	V3	3,14	b
	V4	2,92	a
	V5	3,17	b
	V6	2,93	a
	V7	3,31	b
	V8	2,79	a
LÂMINA	L50	3,11	a
	L75	3,04	a
	L100	3,03	a
	L125	3,03	a
C.V. (%)		25,24	

*Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott com um nível nominal de significância (α) de 5%.

4.5 Análise de custos em viveiro de mudas de cana-de-açúcar irrigado

Na Tabela 28 é apresentado um resumo da análise de custos realizada para viveiro de mudas de cana-de-açúcar irrigado, analisando de forma isolada o efeito das diferentes lâminas de irrigação para o cenário do Estado de GO (FNP, 2015).

Tabela 28 - Análise de custos em viveiro de mudas de cana-de-açúcar irrigado por gotejamento nas diferentes estratégias de lâminas de irrigação estudadas

Lâmina	Produtividade (Ton ha ⁻¹)	CTA* (R\$ ha ⁻¹)	CTA /ton. (R\$ ton ⁻¹)	Preço Médio* (R\$ ton ⁻¹)	Receita (R\$ ha ⁻¹)	Peg. (%)	N. Gemas / ton	N. Gemas Viáveis /ton	R\$ gema ⁻¹	Custo Relativo (R\$ gema ⁻¹)
L100	206,6	11140,9	53,9	65,6	13545,5	92,5	14477,4	13384,3	0,0040	-
L125	167,0	10426,9	62,4	65,6	10952,2	94,4	14835,8	14005,0	0,0045	+10,6%
L75	161,2	10426,9	64,7	65,6	10567,3	94,8	14586,6	13826,6	0,0047	+16,13%
L50	122,0	9712,9	79,6	65,6	8001,5	93,4	14008,8	13078,6	0,0061	+51,04%
Sequeiro*	81,0	5977,1	73,8	65,6	5313,6	85,0**	14477,13***	12305,6	0,0060	+48,82%

* Estimativa Adaptado FNP(2015) ** Estimativa de pagamento de gemas *** Média do experimento

Ao analisar o custo total anual para cada cenário proposto, é possível afirmar que poderá haver um acréscimo de até 86% no custo total anual, comparando os custos de uma

área de sequeiro com áreas que recebem 100% da ETc requerida sob irrigação por gotejamento, conforme a Figura 28.

Figura 28 – Custo total anual por hectare de cana-de-açúcar nos cenários estudados (R\$ ha⁻¹)

Entre os cenários estudados, não há diferenças no CTA para as condições de L75 e L125, pois existem somente diferenças entre as estratégias de irrigação, sendo semelhante a lâmina total aplicada durante o ciclo (R\$10.426,90). Porém, existe um acréscimo de 6,8% no custo total anual, ao se comparar a L100 com as mesmas.

Ao estudar a relação entre CTA e a produtividade observada, isto é, o custo total por tonelada produzida, é possível afirmar que sob condições irrigadas, a estratégia de L100 é a que promove melhor custo/benefício em detrimento das demais, reduzindo no mínimo 13,6% o custo por tonelada de cana. Ao se comparar com as condições de sequeiro, há uma redução na ordem de 27% nos custos por tonelada de cana-de-açúcar produzida, conforme a Figura 29.

Figura 29 - Custo total anual por tonelada de cana-de-açúcar cultivada para os cenários estudados (R\$ ha⁻¹)

Estes resultados refletem na receita a ser obtida com uma possível comercialização da cana-de-açúcar, promovendo um aporte na ordem de R\$ 13.500,00 em condições de irrigação plena (L100), comparado ao sistema de produção em sequeiro (R\$ 5.300,00 – redução de até 60% em receitas), conforme a Figura 30.

Figura 30 – Receita Bruta para os cenários estudados de cultivo de cana-de-açúcar (R\$ ha⁻¹)

Ao analisar as implicações existentes para um sistema de produção de propágulos para MPB, isto é, correlacionando os dados de CTA com o número de gemas viáveis produzidas por hectare (NGV), foi possível estipular o custo de produção de gemas viáveis para condições de viveiros irrigados. O menor custo observado para a estratégia de reposição de

100% da ETc (L100) foi na ordem de R\$ 0,004 por gema viável produzida. Este custo é 33% inferior ao estimado para condições de sequeiro, que é semelhante ao observado para a estratégia L50 (R\$ 0,006 e R\$ 0,0061 por gema viável, respectivamente), conforme a Figura 31.

Figura 31 – Custo unitário de gemas viáveis de cana-de-açúcar para os cenários estudados (R\$ gema⁻¹)

Existe, portanto, um menor custo de produção para obtenção de propágulos de cana-de-açúcar em viveiros de mudas irrigados comparado às condições de sequeiro, sendo que as estratégias de restrição do volume de água aplicado (L50, L75 e L125) oneram em até 51% os custos para cada gema viável produzida.

5 CONCLUSÕES

Considerando-se as condições em que o presente estudo foi desenvolvido, irrigação por gotejamento de alta frequência sob irrigação plena e sob irrigação com déficit, pode-se concluir que:

- a lâmina de irrigação que repõe o total de água requerido com alta frequência (L100) promove um aumento médio de 42% no total de gemas viáveis produzidas por hectare, comparado com o fornecimento de metade da lâmina de irrigação requerida (L50);

- as gemas localizadas na porção média inferior do colmo tem maior capacidade de pegamento, juntamente com as gemas próximas do ápice;

- a estratégia de maturação do viveiro de mudas, isto é, a imposição de déficit hídrico no solo próximo à colheita das plantas que darão origem às gemas para a produção das mudas-pré-brotadas, influencia no número de gemas viáveis por unidade de área, independente da lâmina de irrigação e da variedade adotadas;

- a adoção de déficit hídrico na fase pré-colheita (M1, M2 e M4) em condições de irrigação plena (L100 M3) pode reduzir em média 11% o número de gemas viáveis por hectare;

- a lâmina de irrigação adotada altera o número de perfilhos vivos (perfilhamento) da touceira de cana-de-açúcar, promovendo uma diferenciação significativa do número total de gemas viáveis por unidade de área;

- a produtividade da água para gemas viáveis reflete a capacidade da cultura de produzir gemas de cana-de-açúcar em função do volume de água transpirado, e foi diferenciada em apenas dois grupos de variedades; Com valores médios de 2,88 litros gema⁻¹ para o grupo formado pelas variedades V4, V6 e V8 e valores médios de 3,17 litros gema⁻¹ para o grupo formado pelas variedades V1, V2, V3, V5 e V7;

- a produtividade da água para gemas viáveis de cana-de-açúcar não tem relação com a lâmina de irrigação ou estratégia de maturação adotada, sendo influenciada apenas pelo material genético utilizado (variedade);

- as estratégias de restrição da lâmina de água aplicada (L50, L75 e L125) oneram em até 51% os custos para cada gema viável produzida, comparado à irrigação plena (L100).

REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, D. **Crop evapotranspiration: Guides for computing crop water requirements** Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO; Rome, 1998. 300p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56.)

ASSOCANA – **Associação Rural dos Fornecedores e Plantadores de Cana da Média Sorocabana**. Disponível em: < <http://www.assocana.com.br/custo.php> > Acesso em: 29 abr. 2014.

AYARS, J.E.; PHENE, C. J.; HUTMACHER, R.B.; DAVIS, K.R.; SCHONEMAN, R.A.; VAIL, S.S.; MEAD, R.M. Subsurface drip irrigation of row crops: a review of 15 years research at the Water Management Research Laboratory. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 42, p. 1-27, 1999.

BARBOSA, F. S. **Produtividade de cana-de-açúcar irrigada por gotejamento: Interações entre variedades, lâminas e intensidade do déficit hídrico na fase de maturação**. 2015. 168p. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

BEAUCLAIR, E. G. F. de; SCARPARI, M. S. Noções fitotécnicas. In: RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C.; CASAGRANDE, D. V.; IDE, B.Y. **Plantio de cana-de-açúcar: estado da arte**. Piracicaba: T.C.C. Ripoli, 2007. p. 65-73.

BOVI, V. **Influência do período de armazenamento de mudas de cana-de-açúcar (Saccharum spp.) na brotação e produção das touceiras**. 1982. 80p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1982.

CASAGRANDE, A. A. **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: FUNEP, 1991. 157p.

CASAGRANDE, A. A.; VASCONCELOS, A. C. M de; Fisiologia da parte aérea. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M. de; LANDELL, M. G. A. (Ed.). **Cana-de-Açúcar**. Campinas: IAC, 2010. p. 57-78.

CLEMENTS, H. F. Factors affecting germination of sugarcane. **Hawaiian Planters' Record**. Honolulu, v. 44, p. 117-146, 1940.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, 3º levantamento, dez-2014**. Brasília: Conab, 2014. 120p.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia (UFLA)**, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011. Disponível em: <<http://www.dex.ufla.br/~danielff/software.htm>>. Acesso em: 10 abril d 2014.

FNP CONSULTORIA & AGROINFORMATIVOS. **Agrianual 2015: Anuário da agricultura Brasileira**. São Paulo, 2015. 511 p.

GERALD L. T. S.; LEE L. L. **Biofábrica de plantas:** produção industrial de plantas in vitro Capítulo 7 (Biofábrica e sua influência na produtividade de cana-de-açúcar). São Paulo: ed.1 Antiqua, 2011. p. 118-130.

GOKHALE, M. N. A new approach to cane seed nurseries. **Sugar Technologists Association of India**. Lucknow, v. 6, p. 163- 166, 1977.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Agrícola Municipal**, Brasília: IBGE, 2014. 215 p.

IQBAL, M. T.; EUSUFZAL, S.; RUKSHANA, F. Performance of sugarcane bud chip settlings. **Indian Journal of Sugarcane Technology**, Lucknow, v. 17 p. 88, 2002

LANDELL, M. G. A.; CAMPANA, M. P.; FIGUEIREDO, P. **Sistema de Multiplicação de cana-de-açúcar com uso de mudas-pré-brotadas (MPB), oriundas de gemas individualizadas**. 2. ed. rev. Campinas: Instituto Agrônomo, 2013. 16p. (Documentos IAC, 109)

LANDELL, M.G.A.; SILVA, M.A. As estratégias de seleção da cana em desenvolvimento no Brasil. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v. 1, p. 18-27, jan./jun. 2004.

LUCCHESI, A. A. Cana-de-açúcar. In: CASTRO, P.R.C.; KLUGE, R.A.; SESTARI, I. **Manual de fisiologia vegetal:** fisiologia de cultivos. Piracicaba: CERES, 2008. p. 58-76.

NARENDRANATH, M. Cost-effectiveness of transplanting nurseryraised sugarcane bud chip plants on commercial sugar plantations. **Procceddings of the 11th International Society of Sugar Cane Technologists Congress**, v.1, p. 332, 1992.

NEVES, M.F.; CONEJERO, M.A. **Estratégias para a Cana-de-Açúcar no Brasil**. São Paulo: Atlas, 2009. v.1 312p.

PLANA, R.; DOMINI, M.E.; ESPINOSA, R. Influencia de lãs precipitaciones y la temperatura sobre la brotadura de dos variedades de caña de azúcar (*Saccharum* sp híbrido) plantadas em diferentes meses. **Cultivos tropicales**, Habana, v.9, n.3, p. 19-24, 1987.

PRASAD, R.N.; SREENIVASAN, T.V. Developing technology for sugarcane varietal exchange through bud chips. **Indian Journal of Sugarcane Technology**, Lucknow, v. 11, p. 25-28, 1996

RAMAIAH, B. B.; NARASIMHA, R. G.; PRASAD, G. H. Elimination of internodes in sugarcane seed piece. **Procceddings of the 27th International Society of Sugar Cane Technologists Congress**, v. 1, 1509-1513, 1977.

REDDY T. B.; REDDY T. Y.; REDDY D. S.; MURTHY C. K.; RAO M. R. M. e REDDY, G. H. S. Effect of different types of seed material on growth and yield of sugarcane. **Cooperative Sugar**, New Delhi, v. 17, p. 947-949, 1952.

RODRIGUES, J.D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: UNESP, 1995. 99 p. Disponível em: < <http://www.malavolta.com.br/pdf/1071.pdf> >. Acesso em: 14 jun 2014.

SEGATO, S. V.; MATTIUZ, C. F. M.; MOZAMBANI, A. E. Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. (Ed.) **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006. p. 19-36.

SILVA, J. G. C. **Estatística Experimental**: Análise estatística de experimentos. Versão preliminar. Pelotas, 2007. 531p. Disponível em: < http://www.galileu.esalq.usp.br/arquivos/Plan_Experimentos.pdf >. Acesso em: 12 mar. 2014.

SIMÕES NETO, D. E. **Efeitos da quantidade de reserva energética do tolete e da compactação do solo no desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 1986. 94p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1986.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Tradução de E. R. Santarém et al. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

TAMIL SELVAN, N. Sugar cane response to chip bud method of planting. **Inter Soc Sugar Cane Technol - Agronomy Workshop**, v. 1, p. 23-26, 2006.

THOMAS, K. V. **Report of the Working Group on Sugarcane Productivity and Sugar Recovery in the Country**. Bhawan: government of India, 2013. 231p.

UNICA – **União da Indústria de cana-de-açúcar**. Disponível em: < www.portalunica.com.br >. Acesso em: 17 mar. 2014.

van DILLEWIJN, C. **Botany of Sugarcane, The Chronica Botanica Co**. Waltham: USA, 1952. 352p.

XAVIER, M.A.; LANDELL, M. G. A.; CAMPANA, M. P.; FIGUEIREDO, P.; MENDONÇA, J. R.; DINARDO-MIRANDA, L. L.; SCARPARI, M. S.; GARCIA, J. C.; ANJOS, I. A.; AZANIA, C. A. M.; BRANCALÃO, S. R.; KANTHACK, R. A. D.; AFERRI, G.; SILVA, D. N.; BIDÓIA, M. A. P.; CAMPOS, M. F.; PERRUCCO, D.; MATSUO, R. S.; NEVES, J. C. T.; CASSANELI JUNIOR, J. R.; PERRUCCO, L.; PETRI, R. H.; SILVA, T. N.; SILVA, V. H. P.; THOMAZINHO JUNIOR, J. R.; MIGUEL, P. E. N.; LOREZANTO, C.. M. **Fatores de Desuniformidade e Kit de Pré-Brotação IAC para Sistema de Multiplicação de Cana-de-Açúcar – Mudas-pré-brotadas (MPB)**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2014. 22p (Documentos IAC, 113)

WHITEMAN, P.C.; BULL, T.A.; GLASZIOU, K.T. The physiology of sugarcane; effects of temperature, light, and water on set germination and early growth (*Saccharum spp.*). **Australian Journal of Biological Science**, East Melbourne, v.16, n.2, p. 415-428, 1963.

APÊNDICES

APÊNDICE A- Custo de Produção de cana-de-açúcar para o Estado de Goiás considerando a estimativa para a safra 2014-2015 para um cenário de viveiro irrigado sob L50.

(continua)

Cana-de-açúcar (GO) - Custo de Produção (R\$ ha⁻¹) - 2014/15 - Viveiro Irrigado (L50)					
DESCRIÇÃO	FUND. LAV.			1. CORTE	
	V.U.	Qtde.	Valor	Qtde.	Valor
A - DEPRECIACÃO DA FUNDAÇÃO					
Subtotal A					1506,0
B – OPERAÇÕES					
Confecção dos Terraços	166,1	1,4	232,5	0	
Dessecação para plantio	73,4	0,8	55,1	0	
Eliminador de soqueiras	114,1	0,9	102,7	0	
Conservação de carregadores	166,1	0,1	16,6	0,1	16,6
Manutenção das estradas	166,1	0,1	8,3	0,05	8,3
Subsolagem	114,1	1,8	205,3	0	
Calagem ou gesso	111,1	0,3	33,3	0	
Gradagem Aradora	138,4	1,2	159,2	0	
Gradagem niveladora	132,7	1,0	132,7	0	
Quebra-Lombo	68,9	0,5	34,4	0	
Pulverização Herbicida	73,4	1,0	73,4	0,7	51,4
Aplicação de Vinhaça	5,7	0,0	0,0	90	154,4
Sulcação/Adubação	97,4	1,4	136,4	0	
Transporte Mão-de-Obra	4,3	0,1	0,6	0,13	0,6
Distribuição Torta de Filtro	111,1	0,6	66,7	0	
Transporte Insumos	92,5	0,4	37,0	0,4	37,0
Cobrição	69,6	0,6	41,7	0	
Frota de Apoio	92,5	0,1	12,0	0,13	12,0
Aplicação de Inseticida	73,4	0,0	0,0	0,4	29,4
Enleiramento Palha	72,7	0,0	0,0	0,4	29,1
Tríplice Operação	113,9	0,0	0,0	0,5	57,0
Aplicação aérea de Maturador	32,5	0,0	0,0	0,2	6,5
Transporte de Mudas	92,5	3,0	277,4	0	
CORTE, CARREGAMENTO E TRANSPORTE	24,5	0,0	0,0	106	2599,0
Custo de Energia (6 meses - Centro Oeste) 3 cv/ ha irrigado - 10,5 horas - Tarifa Vermelha	2776,7			0,5	1388,4
Sistema de Irrigação (Gotejamento) - FRC	13200			0,17	2240,0
CORTE, CARREGAMENTO E TRANSPORTE	24,5	0,0	0,0	106	2599,0

APÊNDICE A- Custo de Produção de cana-de-açúcar para o Estado de Goiás considerando a estimativa para a safra 2014-2015 para um cenário de viveiro irrigado sob L50.

(conclusão)

C - OPERAÇÕES MANUAIS					
Locação Terrações	45,7	1,1	50,3	0	
Amostragem de solo	45,7	0,1	2,3	0	
Plantio	41,9	5,0	209,5	0	
Aceiro (apenas colheita manual)	48,7	0,0	0,0	0	
Queima (apenas colheita manual)	48,7	0,0	0,0	0	
Queima da palha (apenas colheita manual)	48,7	0,0	0,0	0	
Fiscal de Campo	83,8	0,0	1,7	0,017	1,4
Carpa Química (cana-planta)	41,9	1,0	41,9	0	
Carpa Manual Repasse (cana-planta)	41,9	1,8	75,4	0	
Carpa Química (soqueira)	41,9	0,0	0,0	0,8	33,5
Auditoria de Plantio	83,8	0,0	2,8	0	
Auditoria de Colheita	83,8	0,0	0,0	0,028	2,3
Pré-análise da cana	68,6	0,0	0,0	0,08	0,5
Auditoria de vinhaça	83,8	0,0	0,0	0,028	2,3
Auditoria de cultivo	83,8	0,0	0,0	0,033	2,8
Combate Formiga	41,9	0,5	21,0	0,5	21,0
Equipe de entomologia	41,9	1,0	41,9	1	41,9
Fertilizantes e Corretivos	0,0	0,0	892,3	0	
Fertilizante cana-planta (4-20-20)	1195,0	0,5	537,8	0	
Fertilizante soqueira (20-5-20)	1335,0	0,0	0,0	0,5	474,25
Calcário e gesso	160,0	2,0	320,0	0	
Defensivos	0	0,0	723,0	0	
Dessecante pré-plantio - Glifosato	12,0	4,0	48,0	0	
Herbicidas cana-planta	87,5	0,0	0,0	0	
Herbicidas Soqueira	0,0	0,0	0,0	2,64	158,40
Carpa Química - Sencor	0	0,0	0,0	0	
Inseticida	540,0	0,0	0,0	0,6	100,80
Nematicida	0,0	0,0	0,0	0	
Maturador	0,0	0,0	0,0	0,67	105,86
Mudas	74,1	16,0	1185,6	0	
D –ADMINISTRAÇÃO					
Viagens	18,9	1,0	18,9	1	18,9
M.O. Administrativa	253,7	1,0	253,7	1	253,72
Assistência Técnica	10,5	1,0	10,5	1	10,5
Contábil./Escritório	15,7	1,0	15,7	1	15,67
Luz/Telefone	49,7	1,0	49,7	1	49,68
Cons/Deprec Benf	10,7	1,0	10,7	1	10,71
Impostos/Taxas	2,85%		174,9	-	165,626
Custo Total (R\$ ha⁻¹)			8620,74		9712,94

APÊNDICE B- Custo de Produção de cana-de-açúcar para o Estado de Goiás considerando a estimativa para a safra 2014-2015 para um cenário de viveiro irrigado sob L75

(continua)

Cana-de-açúcar (GO) - Custo de Produção (R\$ ha⁻¹) - 2014/15 - Viveiro Irrigado (L75)					
DESCRIÇÃO	FUND. LAV.			1. CORTE	
	V.U.	Qtde.	Valor	Qtde.	Valor
A - DEPRECIACÃO DA FUNDAÇÃO					
Subtotal A					1506,0
B – OPERAÇÕES					
Confecção dos Terraços	166,1	1,4	232,5	0	
Dessecação para plantio	73,4	0,8	55,1	0	
Eliminador de soqueiras	114,1	0,9	102,7	0	
Conservação de carregadores	166,1	0,1	16,6	0,1	16,6
Manutenção das estradas	166,1	0,1	8,3	0,05	8,3
Subsolagem	114,1	1,8	205,3	0	
Calagem ou gesso	111,1	0,3	33,3	0	
Gradagem Aradora	138,4	1,2	159,2	0	
Gradagem niveladora	132,7	1,0	132,7	0	
Quebra-Lombo	68,9	0,5	34,4	0	
Pulverização Herbicida	73,4	1,0	73,4	0,7	51,4
Aplicação de Vinhaça	5,7	0,0	0,0	90	154,4
Sulcação/Adubação	97,4	1,4	136,4	0	
Transporte Mão-de-Obra	4,3	0,1	0,6	0,13	0,6
Distribuição Torta de Filtro	111,1	0,6	66,7	0	
Transporte Insumos	92,5	0,4	37,0	0,4	37,0
Cobrição	69,6	0,6	41,7	0	
Frota de Apoio	92,5	0,1	12,0	0,13	12,0
Aplicação de Inseticida	73,4	0,0	0,0	0,4	29,4
Enleiramento Palha	72,7	0,0	0,0	0,4	29,1
Tríplice Operação	113,9	0,0	0,0	0,5	57,0
Aplicação aérea de Maturador	32,5	0,0	0,0	0,2	6,5
Transporte de Mudas	92,5	3,0	277,4	0	
CORTE, CARREGAMENTO E TRANSPORTE	24,5	0,0	0,0	106	2599,0
Custo de Energia (6 meses - Centro Oeste) 3 cv/ ha irrigado - 10,5 horas - Tarifa Vermelha	2776,7			0,75	2082,50
Sistema de Irrigação (Gotejamento) - FRC	13200			0,17	2240,0
CORTE, CARREGAMENTO E TRANSPORTE	24,5	0,0	0,0	106	2599,0

APÊNDICE B- Custo de Produção de cana-de-açúcar para o Estado de Goiás considerando a estimativa para a safra 2014-2015 para um cenário de viveiro irrigado sob L75
(conclusão)

C - OPERAÇÕES MANUAIS					
Locação Terrações	45,7	1,1	50,3	0	
Amostragem de solo	45,7	0,1	2,3	0	
Plantio	41,9	5,0	209,5	0	
Aceiro (apenas colheita manual)	48,7	0,0	0,0	0	
Queima (apenas colheita manual)	48,7	0,0	0,0	0	
Queima da palha (apenas colheita manual)	48,7	0,0	0,0	0	
Fiscal de Campo	83,8	0,0	1,7	0,017	1,4
Carpa Química (cana-planta)	41,9	1,0	41,9	0	
Carpa Manual Repasse (cana-planta)	41,9	1,8	75,4	0	
Carpa Química (soqueira)	41,9	0,0	0,0	0,8	33,5
Auditoria de Plantio	83,8	0,0	2,8	0	
Auditoria de Colheita	83,8	0,0	0,0	0,028	2,3
Pré-análise da cana	68,6	0,0	0,0	0,08	0,5
Auditoria de vinhaça	83,8	0,0	0,0	0,028	2,3
Auditoria de cultivo	83,8	0,0	0,0	0,033	2,8
Combate Formiga	41,9	0,5	21,0	0,5	21,0
Equipe de entomologia	41,9	1,0	41,9	1	41,9
Fertilizantes e Corretivos	0,0	0,0	892,3	0	
Fertilizante cana-planta (4-20-20)	1195,0	0,5	537,8	0	
Fertilizante soqueira (20-5-20)	1335,0	0,0	0,0	0,5	474,25
Calcário e gesso	160,0	2,0	320,0	0	
Defensivos	0	0,0	723,0	0	
Dessecante pré-plantio - Glifosato	12,0	4,0	48,0	0	
Herbicidas cana-planta	87,5	0,0	0,0	0	
Herbicidas Soqueira	0,0	0,0	0,0	2,64	158,40
Carpa Química - Sencor	0	0,0	0,0	0	
Inseticida	540,0	0,0	0,0	0,6	100,80
Nematicida	0,0	0,0	0,0	0	
Maturador	0,0	0,0	0,0	0,67	105,86
Mudas	74,1	16,0	1185,6	0	
D –ADMINISTRAÇÃO					
Viagens	18,9	1,0	18,9	1	18,9
M.O. Administrativa	253,7	1,0	253,7	1	253,72
Assistência Técnica	10,5	1,0	10,5	1	10,5
Contábil./Escritório	15,7	1,0	15,7	1	15,67
Luz/Telefone	49,7	1,0	49,7	1	49,68
Cons/Deprec Benf	10,7	1,0	10,7	1	10,71
Impostos/Taxas	2,85%		174,9	-	165,626
Custo Total (R\$ ha⁻¹)			8620,74		10426,90

APÊNDICE C- Custo de Produção de cana-de-açúcar para o Estado de Goiás considerando a estimativa para a safra 2014-2015 para um cenário de viveiro irrigado sob L100
(continua)

Cana-de-açúcar (GO) - Custo de Produção (R\$ ha⁻¹) - 2014/15 - Viveiro Irrigado (L100)					
DESCRIÇÃO	FUND. LAV.			1. CORTE	
	V.U.	Qtde.	Valor	Qtde.	Valor
A - DEPRECIACÃO DA FUNDAÇÃO					
Subtotal A					1506,0
B – OPERAÇÕES					
Confecção dos Terraços	166,1	1,4	232,5	0	
Dessecação para plantio	73,4	0,8	55,1	0	
Eliminador de soqueiras	114,1	0,9	102,7	0	
Conservação de carregadores	166,1	0,1	16,6	0,1	16,6
Manutenção das estradas	166,1	0,1	8,3	0,05	8,3
Subsolagem	114,1	1,8	205,3	0	
Calagem ou gesso	111,1	0,3	33,3	0	
Gradagem Aradora	138,4	1,2	159,2	0	
Gradagem niveladora	132,7	1,0	132,7	0	
Quebra-Lombo	68,9	0,5	34,4	0	
Pulverização Herbicida	73,4	1,0	73,4	0,7	51,4
Aplicação de Vinhaça	5,7	0,0	0,0	90	154,4
Sulcação/Adubação	97,4	1,4	136,4	0	
Transporte Mão-de-Obra	4,3	0,1	0,6	0,13	0,6
Distribuição Torta de Filtro	111,1	0,6	66,7	0	
Transporte Insumos	92,5	0,4	37,0	0,4	37,0
Cobrição	69,6	0,6	41,7	0	
Frota de Apoio	92,5	0,1	12,0	0,13	12,0
Aplicação de Inseticida	73,4	0,0	0,0	0,4	29,4
Enleiramento Palha	72,7	0,0	0,0	0,4	29,1
Tríplice Operação	113,9	0,0	0,0	0,5	57,0
Aplicação aérea de Maturador	32,5	0,0	0,0	0,2	6,5
Transporte de Mudanças	92,5	3,0	277,4	0	
CORTE, CARREGAMENTO E TRANSPORTE	24,5	0,0	0,0	106	2599,0
Custo de Energia (6 meses - Centro Oeste) 3 cv/ ha irrigado - 10,5 horas - Tarifa Vermelha	2776,7			1,0	2776,70
Sistema de Irrigação (Gotejamento) - FRC	13200			0,17	2240,0
CORTE, CARREGAMENTO E TRANSPORTE	24,5	0,0	0,0	106	2599,0

APÊNDICE C- Custo de Produção de cana-de-açúcar para o Estado de Goiás considerando a estimativa para a safra 2014-2015 para um cenário de viveiro irrigado sob L100
(conclusão)

C - OPERAÇÕES MANUAIS					
Locação Terrações	45,7	1,1	50,3	0	
Amostragem de solo	45,7	0,1	2,3	0	
Plantio	41,9	5,0	209,5	0	
Aceiro (apenas colheita manual)	48,7	0,0	0,0	0	
Queima (apenas colheita manual)	48,7	0,0	0,0	0	
Queima da palha (apenas colheita manual)	48,7	0,0	0,0	0	
Fiscal de Campo	83,8	0,0	1,7	0,017	1,4
Carpa Química (cana-planta)	41,9	1,0	41,9	0	
Carpa Manual Repasse (cana-planta)	41,9	1,8	75,4	0	
Carpa Química (soqueira)	41,9	0,0	0,0	0,8	33,5
Auditoria de Plantio	83,8	0,0	2,8	0	
Auditoria de Colheita	83,8	0,0	0,0	0,028	2,3
Pré-análise da cana	68,6	0,0	0,0	0,08	0,5
Auditoria de vinhaça	83,8	0,0	0,0	0,028	2,3
Auditoria de cultivo	83,8	0,0	0,0	0,033	2,8
Combate Formiga	41,9	0,5	21,0	0,5	21,0
Equipe de entomologia	41,9	1,0	41,9	1	41,9
Fertilizantes e Corretivos	0,0	0,0	892,3	0	
Fertilizante cana-planta (4-20-20)	1195,0	0,5	537,8	0	
Fertilizante soqueira (20-5-20)	1335,0	0,0	0,0	0,5	474,25
Calcário e gesso	160,0	2,0	320,0	0	
Defensivos	0	0,0	723,0	0	
Dessecante pré-plantio - Glifosato	12,0	4,0	48,0	0	
Herbicidas cana-planta	87,5	0,0	0,0	0	
Herbicidas Soqueira	0,0	0,0	0,0	2,64	158,40
Carpa Química - Sencor	0	0,0	0,0	0	
Inseticida	540,0	0,0	0,0	0,6	100,80
Nematicida	0,0	0,0	0,0	0	
Maturador	0,0	0,0	0,0	0,67	105,86
Mudas	74,1	16,0	1185,6	0	
D –ADMINISTRAÇÃO					
Viagens	18,9	1,0	18,9	1	18,9
M.O. Administrativa	253,7	1,0	253,7	1	253,72
Assistência Técnica	10,5	1,0	10,5	1	10,5
Contábil./Escritório	15,7	1,0	15,7	1	15,67
Luz/Telefone	49,7	1,0	49,7	1	49,68
Cons/Deprec Benf	10,7	1,0	10,7	1	10,71
Impostos/Taxas	2,85%		174,9	-	165,626
Custo Total (R\$ ha⁻¹)			8620,74		11140,86

APÊNDICE D- Custo de Produção de cana-de-açúcar para o Estado de Goiás considerando a estimativa para a safra 2014-2015 para um cenário de viveiro irrigado sob L125
(continua)

Cana-de-açúcar (GO) - Custo de Produção (R\$ ha⁻¹) - 2014/15 - Viveiro Irrigado (L125)					
DESCRIÇÃO	FUND. LAV.			1. CORTE	
	V.U.	Qtde.	Valor	Qtde.	Valor
A - DEPRECIAÇÃO DA FUNDAÇÃO					
Subtotal A					1506,0
B – OPERAÇÕES					
Confecção dos Terraços	166,1	1,4	232,5	0	
Dessecação para plantio	73,4	0,8	55,1	0	
Eliminador de soqueiras	114,1	0,9	102,7	0	
Conservação de carregadores	166,1	0,1	16,6	0,1	16,6
Manutenção das estradas	166,1	0,1	8,3	0,05	8,3
Subsolagem	114,1	1,8	205,3	0	
Calagem ou gesso	111,1	0,3	33,3	0	
Gradagem Aradora	138,4	1,2	159,2	0	
Gradagem niveladora	132,7	1,0	132,7	0	
Quebra-Lombo	68,9	0,5	34,4	0	
Pulverização Herbicida	73,4	1,0	73,4	0,7	51,4
Aplicação de Vinhaça	5,7	0,0	0,0	90	154,4
Sulcação/Adubação	97,4	1,4	136,4	0	
Transporte Mão-de-Obra	4,3	0,1	0,6	0,13	0,6
Distribuição Torta de Filtro	111,1	0,6	66,7	0	
Transporte Insumos	92,5	0,4	37,0	0,4	37,0
Cobrição	69,6	0,6	41,7	0	
Frota de Apoio	92,5	0,1	12,0	0,13	12,0
Aplicação de Inseticida	73,4	0,0	0,0	0,4	29,4
Enleiramento Palha	72,7	0,0	0,0	0,4	29,1
Tríplice Operação	113,9	0,0	0,0	0,5	57,0
Aplicação aérea de Maturador	32,5	0,0	0,0	0,2	6,5
Transporte de Mudas	92,5	3,0	277,4	0	
CORTE, CARREGAMENTO E TRANSPORTE	24,5	0,0	0,0	106	2599,0
Custo de Energia (6 meses - Centro Oeste) 3 cv/ ha irrigado - 10,5 horas - Tarifa Vermelha	2776,7			0,75	2082,50
Sistema de Irrigação (Gotejamento) - FRC	13200			0,17	2240,0
CORTE, CARREGAMENTO E TRANSPORTE	24,5	0,0	0,0	106	2599,0

APÊNDICE D- Custo de Produção de cana-de-açúcar para o Estado de Goiás considerando a estimativa para a safra 2014-2015 para um cenário de viveiro irrigado sob L125
(conclusão)

C - OPERAÇÕES MANUAIS					
Locação Terrações	45,7	1,1	50,3	0	
Amostragem de solo	45,7	0,1	2,3	0	
Plantio	41,9	5,0	209,5	0	
Aceiro (apenas colheita manual)	48,7	0,0	0,0	0	
Queima (apenas colheita manual)	48,7	0,0	0,0	0	
Queima da palha (apenas colheita manual)	48,7	0,0	0,0	0	
Fiscal de Campo	83,8	0,0	1,7	0,017	1,4
Carpa Química (cana-planta)	41,9	1,0	41,9	0	
Carpa Manual Repasse (cana-planta)	41,9	1,8	75,4	0	
Carpa Química (soqueira)	41,9	0,0	0,0	0,8	33,5
Auditoria de Plantio	83,8	0,0	2,8	0	
Auditoria de Colheita	83,8	0,0	0,0	0,028	2,3
Pré-análise da cana	68,6	0,0	0,0	0,08	0,5
Auditoria de vinhaça	83,8	0,0	0,0	0,028	2,3
Auditoria de cultivo	83,8	0,0	0,0	0,033	2,8
Combate Formiga	41,9	0,5	21,0	0,5	21,0
Equipe de entomologia	41,9	1,0	41,9	1	41,9
Fertilizantes e Corretivos	0,0	0,0	892,3	0	
Fertilizante cana-planta (4-20-20)	1195,0	0,5	537,8	0	
Fertilizante soqueira (20-5-20)	1335,0	0,0	0,0	0,5	474,25
Calcário e gesso	160,0	2,0	320,0	0	
Defensivos	0	0,0	723,0	0	
Dessecante pré-plantio - Glifosato	12,0	4,0	48,0	0	
Herbicidas cana-planta	87,5	0,0	0,0	0	
Herbicidas Soqueira	0,0	0,0	0,0	2,64	158,40
Carpa Química - Sencor	0	0,0	0,0	0	
Inseticida	540,0	0,0	0,0	0,6	100,80
Nematicida	0,0	0,0	0,0	0	
Maturador	0,0	0,0	0,0	0,67	105,86
Mudas	74,1	16,0	1185,6	0	
D – ADMINISTRAÇÃO					
Viagens	18,9	1,0	18,9	1	18,9
M.O. Administrativa	253,7	1,0	253,7	1	253,72
Assistência Técnica	10,5	1,0	10,5	1	10,5
Contábil./Escritório	15,7	1,0	15,7	1	15,67
Luz/Telefone	49,7	1,0	49,7	1	49,68
Cons/Deprec Benf	10,7	1,0	10,7	1	10,71
Impostos/Taxas	2,85%		174,9	-	165,626
Custo Total (R\$ ha⁻¹)			8620,74		10426,90

APÊNDICE E - Dados de radiação solar global - Q_g ($\text{MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$); temperatura mínima, máxima e média - $T_{\min}$, $T_{\max}$, T_{med} ($^{\circ}\text{C}$); umidade relativa mínima, máxima e média - $UR_{\min}$, $UR_{\max}$, UR_{med} (%); déficit de pressão de vapor - DPV (kPa); e evapotranspiração de referência - ET_o (mm dia^{-1}) do interior da estufa em cada dia Juliano (J) (Continua)

Dia	J	$T_{\min}$	$T_{\max}$	T_{med}	$UR_{\min}$	$UR_{\max}$	UR_{med}	es-ea (kPa)	Q_g ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$)	ET_o
15/02/2014	46	22,5	38,4	28,2	37,8	93,1	72,0	1,1	13,5	3,3
16/02/2014	47	22,5	39,2	28,3	36,4	93,7	71,9	1,1	13,2	3,3
17/02/2014	48	22,0	38,0	27,3	39,9	93,2	75,7	1,0	12,4	3,0
18/02/2014	49	21,3	33,9	25,6	55,2	94,8	81,4	0,7	9,3	2,4
19/02/2014	50	21,1	36,6	26,9	38,3	95,2	75,1	0,9	12,1	2,9
20/02/2014	51	21,6	39,4	27,8	35,5	93,7	72,5	1,1	12,8	3,1
21/02/2014	52	20,8	41,0	28,9	30,2	94,6	68,6	1,1	16,7	4,0
22/02/2014	53	22,3	39,6	29,3	34,1	94,2	68,7	1,1	16,1	3,8
23/02/2014	54	22,4	39,1	29,0	37,0	93,5	71,8	1,1	15,3	3,6
24/02/2014	55	22,7	39,4	29,3	33,1	93,9	71,0	1,1	14,5	3,5
25/02/2014	56	22,8	35,9	27,7	45,8	93,8	75,2	0,9	11,2	2,8
26/02/2014	57	21,3	37,2	27,4	39,4	88,9	69,3	1,1	13,2	3,2
27/02/2014	58	21,4	37,3	27,0	42,2	90,1	72,9	1,0	12,5	3,0
28/02/2014	59	21,4	31,9	24,5	60,7	93,4	84,6	0,7	4,7	1,4
01/03/2014	61	20,7	30,0	23,4	58,4	93,9	82,8	0,6	6,6	1,7
02/03/2014	62	20,3	26,7	23,1	72,4	90,6	83,1	0,5	5,6	1,5
03/03/2014	63	20,3	29,1	23,5	61,1	93,1	82,4	0,6	6,0	1,6
04/03/2014	64	20,4	31,4	24,9	56,7	94,6	80,0	0,6	9,0	2,2
05/03/2014	65	20,6	31,5	24,8	57,3	94,0	79,5	0,7	9,0	2,2
06/03/2014	66	20,1	31,8	24,0	52,2	93,6	78,9	0,7	8,2	2,0
07/03/2014	67	18,7	33,1	24,3	42,8	94,7	75,2	0,7	11,7	2,7
08/03/2014	68	19,3	33,6	25,2	43,3	93,2	73,8	0,8	10,9	2,6
09/03/2014	68	21,2	35,4	26,5	45,4	93,3	75,5	0,9	11,2	2,8
10/03/2014	70	18,5	39,6	27,3	34,7	95,7	68,7	2,4	18,0	4,0
11/03/2014	71	20,7	37,4	26,6	41,7	93,4	73,0	1,9	13,7	3,2
12/03/2014	72	21,0	34,6	24,0	51,9	96,9	87,0	1,4	7,3	2,1
13/03/2014	73	20,8	35,0	25,6	49,6	97,7	80,0	1,4	10,4	2,6
14/03/2014	74	20,1	38,1	27,7	36,3	98,0	72,0	2,1	17,6	3,9
15/03/2014	75	20,8	39,1	28,3	36,5	95,7	70,1	2,3	17,4	3,9
16/03/2014	76	21,8	39,4	29,3	32,5	95,4	65,0	2,5	18,2	4,1
17/03/2014	77	20,6	38,3	28,2	32,7	93,2	64,6	2,4	15,3	3,6
18/03/2014	78	20,6	38,9	27,7	33,6	99,4	71,8	2,3	14,7	3,5
19/03/2014	79	20,3	37,2	26,9	43,0	98,9	76,4	1,8	16,2	3,7
20/03/2014	80	21,2	37,9	26,9	40,9	99,4	79,9	2,0	14,2	3,4
21/03/2014	81	21,2	35,5	25,3	52,2	100,0	88,1	1,4	11,3	2,8
22/03/2014	82	20,7	34,2	25,0	52,2	100,0	85,3	1,3	10,7	2,6
23/03/2014	83	19,3	30,1	23,1	57,2	95,7	80,6	1,0	12,1	2,6
24/03/2014	84	18,4	32,9	23,4	49,8	97,4	77,7	1,3	14,0	3,1
25/03/2014	85	17,5	34,2	24,0	44,3	99,7	75,1	1,5	16,4	3,5
26/03/2014	86	17,6	34,4	24,0	41,8	97,4	75,8	1,6	15,6	3,4
27/03/2014	87	18,4	35,9	25,2	40,3	99,5	73,7	1,8	16,2	3,6
28/03/2014	88	18,8	35,2	25,7	43,7	99,9	74,2	1,6	17,0	3,7
29/03/2014	89	19,2	36,8	25,9	41,5	100,0	76,3	1,8	15,3	3,5
30/03/2014	90	21,0	30,5	24,5	64,1	99,0	86,1	0,8	7,1	1,9
31/03/2014	91	21,2	33,6	25,5	55,2	100,0	87,8	1,2	9,8	2,5

APÊNDICE F - Dados de radiação solar global - Q_g ($\text{MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$); temperatura mínima, máxima e média - $T_{\min}$, $T_{\max}$, T_{med} ($^{\circ}\text{C}$); umidade relativa mínima, máxima e média - $UR_{\min}$, $UR_{\max}$, UR_{med} (%); déficit de pressão de vapor - DPV (kPa); e evapotranspiração de referência - E_{To} (mm dia^{-1}) do interior da estufa em cada dia Juliano (J) (Conclusão)

Dia	J	$T_{\min}$	$T_{\max}$	T_{med}	$UR_{\min}$	$UR_{\max}$	UR_{med}	$es-ea$ (kPa)	Q_g ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$)	E_{To}
01/04/2014	92	21,7	36,7	27,2	45,8	100,0	81,1	1,7	16,1	3,7
02/04/2014	93	20,9	36,6	26,8	44,7	99,6	77,8	1,7	15,8	3,6
03/04/2014	94	19,5	35,2	25,8	43,2	100,0	77,4	1,6	14,8	3,4
04/04/2014	95	20,0	34,2	25,6	48,7	99,6	76,5	1,4	13,3	3,1
05/04/2014	96	18,5	35,6	25,5	41,3	97,6	71,6	1,7	16,9	3,7
06/04/2014	97	18,0	36,2	24,9	35,0	100,0	77,5	1,9	16,9	3,7
07/04/2014	98	18,0	37,6	26,0	30,4	99,8	71,3	2,3	16,3	3,8
08/04/2014	99	18,2	38,2	26,1	28,9	99,4	71,7	2,4	15,9	3,8