



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL de LONDRINA

---

GISELE SILVA DE AQUINO

**PRODUÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL DE CANA-DE-  
AÇÚCAR SOB QUANTIDADES DE PALHADA EM  
LATOSSOLO VERMELHO EUTROFÉRICO**

---

Londrina  
2015

GISELE SILVA DE AQUINO

**PRODUÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL DE CANA-DE-  
AÇÚCAR SOB QUANTIDADES DE PALHADA EM  
LATOSSOLO VERMELHO EUTROFÉRICO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Agronomia.

Orientadora: Profa. Dra. Cristiane de Conti Medina

Londrina  
2015

**Catálogo elaborado pela Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca  
Central da Universidade Estadual de Londrina.**

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**

A657p Aquino, Gisele Silva de.

Produção e qualidade industrial de cana-de-açúcar sob quantidades de palhada em latossolo vermelho eutrófico / Gisele Silva de Aquino. – Londrina, 2015.

99 f. : il.

Orientador: Cristiane de Conti Medina.

Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2015.

Inclui bibliografia.

1. Cana-de-açúcar – Colheita – Solos – Teses. 2. Biomassa – Teses. 3. Bioenergia – Teses. 4. Resíduos agrícolas – Teses. I. Medina, Cristiane de Conti. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU 633.61

GISELE SILVA DE AQUINO

**PRODUÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL DE CANA-DE-AÇÚCAR  
SOB QUANTIDADES DE PALHADA EM LATOSSOLO VERMELHO  
EUTROFÉRICO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Agronomia.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Profa. Dra. Cristiane de Conti Medina  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Dra. Raffaella Rossetto  
Agência Paulista Tecnologia do Agronegócio  
APTA – Instituto Agrônômico IAC

---

Dr. Eduardo Meneghel Rando  
Universidade Estadual do Norte do Paraná -  
UENP

---

Dr. Mateus Carvalho Basílio de Azevedo  
Instituto Agrônômico do Paraná –  
IAPAR/Londrina

---

Profa. Dra. Carmen Silvia Vieira Janeiro Neves  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Londrina, 10 de abril de 2015.

## **DEDICO**

*A Deus, por ter aberto as  
portas e mostrado o  
caminho. Quem me  
sustentou nos momentos  
mais difíceis.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecimento especial à minha mãe Idelzute pelo apoio imensurável em todas as etapas da minha vida, pelos ensinamentos, companheirismo, incentivo, sem os quais jamais estaria onde estou e pelo privilégio de ser sua filha.

À minha orientadora, Dra. Cristiane de Conti Medina, pela constante amizade, apoio e confiança em todas as etapas desse trabalho. Por todos os ensinamentos não só acadêmicos, mas valiosos ensinamentos de vida. Um exemplo de pessoa, que tive a honra de ter em meu caminho.

Ao meu namorado Alexandre Ferri por todo o carinho e companheirismo, estando presente com todo amor e prestatividade nas diversas etapas da minha vida.

Ao professor Dr. Osmar Rodrigues Brito, que auxiliou com muita atenção em diversas etapas deste trabalho, pelo companheirismo e amizade.

À Usina de Bandeirantes Usiban, que, com muito carinho nos recebeu e possibilitou a execução desta pesquisa.

Ao Sr. Valcir Palota, diretor técnico da Usiban, pela amizade, prestatividade e apoio durante todo o período de trabalho.

Aos técnicos e colaboradores da usina, pela constante colaboração nas avaliações.

A todos os estagiários que fizeram parte desse projeto, trabalhando com empenho e dedicação, sem os quais seria impossível essa realização.

A PETROBRÁS, pelo apoio financeiro ao desenvolvimento do projeto de pesquisa.

A CAPES, pela bolsa de estudos.

A UEL e Pós-graduação de Agronomia por possibilitar a conclusão de etapas tão importantes da minha vida.

AQUINO, Gisele, S. **Produção e qualidade industrial de cana-de-açúcar sob quantidades de palhada em Latossolo Vermelho eutroférico**. 2014. 100 fls. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2015.

## RESUMO

Na operação de pré-colheita da cana-de-açúcar, a mudança para o sistema de produção em que o fogo não é mais utilizado resulta em grandes quantidades de palhada, com modificações em todo o ambiente agrícola. Inúmeros benefícios ao solo e à cultura são proporcionados por esse resíduo. Entretanto, não se conhece que quantidade seria suficiente para promover tais benefícios e qual volume poderia ser usado em outros setores, como cogeração e produção de bioetanol, garantindo a sustentabilidade a campo e otimizando a geração de energia pelo setor. O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito de diferentes quantidades de palhada no crescimento aéreo, enraizamento, produtividade e qualidade industrial da cana-de-açúcar em Latossolo Vermelho eutroférico. As avaliações foram realizadas nas primeira, segunda e terceira soqueiras de cana-de-açúcar, variedade SP 801816, em blocos casualizados com quatro repetições. Foram testados os efeitos de seis tratamentos: cana-queimada, 0%; 25% (5 t ha<sup>-1</sup>); 50% (10 t ha<sup>-1</sup>); 75% (15 t ha<sup>-1</sup>); 100% (20 t ha<sup>-1</sup>) de palhada sobre o crescimento (Índice de área foliar, número, diâmetro, comprimento e peso médio dos colmos), o enraizamento, a qualidade industrial (Pol, sólidos solúveis (Brix), pureza aparente, fibra, açúcares redutores (AR) e açúcares totais recuperáveis (ATR)) e a produtividade da cana-de-açúcar em toneladas de cana por hectare (TCH). As avaliações de crescimento foram realizadas em cinco períodos: 60, 120, 180, 240 dias após o corte (DAC) e na pré colheita (370 e 270 DAC respectivamente, para primeira e segunda soqueiras). O enraizamento foi avaliado no período de colheita (450 e 300 DAC, respectivamente para a primeira e segunda soqueiras), a 0,45 e 0,75 m de distância horizontal da touceira, nas profundidades de 0 – 0,10, 0,10 – 0,20, 0,20 – 0,40 e 0,40 – 0,60 m. A qualidade industrial foi avaliada aos 180 e 240 DAC e na pré colheita de cada ciclo. A produtividade foi avaliada em cada colheita, pensando-se a massa fresca total dos colmos existentes na área útil de cada parcela. Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey. A mudança do sistema de colheita de cana queimada para cana sob palhada mantém a qualidade do caldo e beneficia a produtividade e o sistema radicular; a manutenção de palhada em superfície proporcionou benefícios ao desenvolvimento da cultura, após 4 anos de cultivo. A colheita com cana queimada, a retirada total ou a manutenção de 25% da palhada resultaram em menor produtividade, em condições de precipitação insuficiente. A manutenção de 50% da palhada (10 t ha<sup>-1</sup>) em superfície é suficiente para proporcionar maior enraizamento e maior produtividade, sendo possível remover os 50% excedente do campo para os processos industriais de obtenção de energia, sem que ocorram prejuízos à produtividade da cultura. A manutenção de palhada em superfície não afeta a qualidade industrial, embora a maior produção de açúcar tenha sido favorecida pela maior produção de colmos. Em condições de precipitação adequada, a palhada não influencia no sistema radicular e na produtividade da cultura, a curto prazo.

**Palavras-chave:** Etanol 2º geração. Biomassa. Bioenergia. Colheita mecanizada. Resíduo agrícola.

AQUINO, Gisele, S. **Industrial production and quality of sugarcane in quantities of straw in eutroferic Red Latosol**. 2015. 100 f. Thesis (PhD in Agronomy) - State University of Londrina, Londrina, 2015.

## ABSTRACT

The change in the production system where the fire is no longer used as a pre-harvest operation, causes the permanence of large quantities of straw, with modifications around the agricultural environment. Numerous benefits to land and culture are provided by this residue. However, it was not addressed which amount would be sufficient to promote these benefits and what volume could be used in other sectors such as cogeneration and bioethanol, ensuring the sustainability field and optimizing the generation of energy by sector. The objective was to evaluate the effect of different amounts of straw on growth, rooting, industrial productivity and quality of sugarcane. The evaluations were performed in the first, second and third ratoon cane sugar, variety SP 801 816, a randomized block with four replications. Were tested in eutroferic Red Latosol, the effects of six treatments 0%, 25% ( $5 \text{ t ha}^{-1}$ ), 50% ( $10 \text{ t ha}^{-1}$ ), 75% ( $15 \text{ t ha}^{-1}$ ), 100% ( $20 \text{ t ha}^{-1}$ ) straw and sugarcane burning on growth (IAF, the number, diameter, length and average weight of stems), rooting, industrial quality (Pol, Brix, apparent purity, fiber, and AR ATR) and the productivity of sugarcane. Growth evaluations were performed in five periods: 60, 120, 180, 240 days after cutting (DAC) and pre harvest (370, 270 CAD respectively for the first and second knuckles). Rooting was evaluated at harvest time (450 and 300 CAD, respectively for the first and second knuckles) at 0.45 and 0.75 m horizontal distance from the clump at depths from 0 to 0.10, 0.10 - 0.20, 0.20 to 0.40 and from 0.40 to 0.60 m. Industrial quality was evaluated at 180, 240 DAC and pre harvest of each cycle. Productivity was assessed at each harvest by weighing the total fresh weight of existing stems in the floor area of each plot. The results were submitted to analysis of variance and means compared by Tukey test. The change of burnt cane harvesting system for sugarcane under straw did not negatively affect the quality of the broth, the final productivity and the root system and the maintenance of straw surface was not detrimental to the development of culture, after 4 years of cultivation. The harvest with burnt cane, or total withdrawal maintaining 25% of the straw resulted in lower root mass and lower productivity, insufficient rainfall conditions, and the maintenance of 50% of straw surface was sufficient to provide greater rooting and increased productivity, and can remove 50% over the countryside to industrial processes for the production of energy, without the occurrence of damage to the crop yield. Maintaining straw surface did not affect the industrial quality, though most sugar production was favored by higher production of stems. In conditions of adequate rainfall, the straw does not influence the root system and on crop productivity in the short term.

**Key-words:** 2nd generation ethanol. Biomass. Bioenergy. Mechanized harvesting. Agricultural waste.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1 - Extrato do balanço hídrico mensal ocorrido durante o ciclo de primeira (A) e segunda soqueira (B), Bandeirantes - PR. ....	44
Figura 4.2 - Índice de Área Foliar de cana-de-açúcar em relação à quantidade de palhada em superfície (%), na primeira soqueira de cana-de-açúcar em dias após o corte (DAC). Safra 2011/12.....	48
Figura 4.3 - Diâmetro médio de colmos (cm) de cana-de-açúcar em relação à quantidade de palhada em superfície (%), na primeira e segunda soqueira de cana-de-açúcar em dias após o corte (DAC).....	51
Figura 4.4 - Comprimento médio de colmos (m) de cana-de-açúcar em relação à quantidade de palhada em superfície (%), na primeira e segunda soqueira de cana-de-açúcar em dias após o corte (DAC).....	52
Figura 4.5 - Número de colmos (NC ha <sup>-1</sup> ) de cana-de-açúcar em relação à quantidade de palhada em superfície, na primeira e segunda soqueira de cana-de-açúcar em dias após o corte (DAC). ....	53
Figura 4.6 - Massa fresca de colmos, em toneladas de cana por hectare (TCH), obtidos a partir dos dois metros lineares por parcela, em relação à quantidade de palhada em superfície, em dias após o corte (DAC). Bandeirantes – PR.....	55
Figura 5.1 – Extrato do balanço hídrico mensal durante ciclo de primeira (A) e segunda soqueira (B) de cana-de-açúcar, Bandeirantes - PR.....	62

Figura 5.2 – Desenho esquemático detalhando as distâncias da linha de plantio (0,45 e 0,75 m) e as profundidades (0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m) que foram inseridos os anéis para amostragem das raízes.....	65
Figura 5.3 – Massa seca de raízes ( $\text{cm}^{-3}$ de solo) da primeira soqueira, à distância 0,45 m da touceira (distância 1), aos 450 DAC, nas profundidades 0 - 0,10, 0,10 – 0,20, 0,20 – 0,40 e 0,40 - 0,60 m e porcentagem média de distribuição de raízes no perfil avaliado.....	66
Figura 5.4 – Massa seca de raízes ( $\text{mg cm}^{-3}$ de solo) da primeira soqueira, à distância 0,75 m da touceira (distância 2), aos 450 DAC, nas profundidades 0 - 0,10, 0,10 – 0,20, 0,20 – 0,40 e 0,40 - 0,60 m e porcentagem média de distribuição de raízes no perfil avaliado....	67
Figura 5.5 – Massa seca de raízes ( $\text{mg cm}^{-3}$ de solo) da segunda soqueira, à distância 0,45 m da touceira (distância 1), aos 300 DAC, nas profundidades 0 - 0,10, 0,10 – 0,20, 0,20 – 0,40 e 0,40 - 0,60 m e porcentagem média de distribuição de raízes no perfil avaliado....	69
Figura 5.6 – Massa seca de raízes ( $\text{mg cm}^{-3}$ de solo) da segunda soqueira, à distância 0,75 m da touceira (distância 2), aos 300 DAC, nas profundidades 0 - 0,10, 0,10 – 0,20, 0,20 – 0,40 e 0,40 - 0,60 m e porcentagem média de distribuição de raízes no perfil avaliado....	70
Figura 5.7 – Produção de cana-de-açúcar (TCH) em relação à quantidade de palhada em superfície (%), na primeira (safra 2011/12) e segunda soqueira (safra 2012/13). Bandeirantes–PR.....	72
Figura 6.1 – Extrato do balanço hídrico mensal ocorrido durante o ciclo de terceira soqueira (safra 2013/14), Bandeirantes, PR....	80

Figura 6.2 – Sólidos solúveis (A), POL (B), pureza (C), AR (D), ATR (E) (%) no caldo e fibra (F) (%) da cana-de-açúcar em relação à quantidade de palhada em superfície (%), terceira soqueira (safra 2013/2014). Bandeirantes – PR. NS=Não significativo pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.....	83
Figura 6.3 – Produção de cana-de-açúcar (TCH) em relação à quantidade de palhada em superfície (%), terceira soqueira (safra 2013/2014). Bandeirantes–PR. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si, pelo teste Tukey, a 3% de probabilidade.....	85
Figura 1 – Extrato do balanço hídrico mensal, durante período experimental.....	94
Figura 2 – Desenho esquemático detalhando as distâncias da linha de plantio (0,45 e 0,75 m) e as profundidades (0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m) que foram inseridos os anéis para amostragem das raízes.....	97
Figura 3 – Massa seca de raízes (mg) por cm <sup>3</sup> de solo, à distância 0,45 m da touceira (distância 1), aos 180 e 270 DAP, nas profundidades 0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 e porcentagem média de distribuição de raízes no perfil avaliado. Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de significância.....	99
Figura 4 – Massa seca de raízes (mg) por cm <sup>3</sup> de solo, à distância 0,75 m da touceira (distância 2), aos 180 e 270 DPA, nas profundidades 0 - 0,10, 0,10 – 0,20, 0,20 – 0,40 e 0,40 - 0,60 m e porcentagem média de distribuição de raízes no perfil avaliado. Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de significância.....	100

## LISTA TABELAS

Tabela 4.1 - Densidade de um Latossolo Vermelho eutroférico antes da instalação do experimento. Bandeirantes – PR, 2010.....	45
Tabela 4.2 - Resultado de análises químicas de Latossolo Vermelho eutroférico, antes da instalação do experimento, nas profundidades de 0 a 0,60 m, Bandeirantes – PR, 2010.....	45
Tabela 6.1 - Resultado de análise química e de textura de Latossolo Vermelho eutroférico, Bandeirantes – PR, 2013.....	81
Tabela 1 - Densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ) de um Latossolo Vermelho eutroférico, Bandeirantes – PR, 2010..	95
Tabela 2 - Resultado de análises químicas de um Latossolo Vermelho eutroférico, nas profundidades de 0 a 0,60 m, Bandeirantes – PR, 2010..	95
Tabela 3 - Produção de cana-de-açúcar (TCH) em relação à quantidade de palhada em superfície (%). Safra 2010/11. Bandeirantes – PR. Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 1% de significância.....	104

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	16
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	17
<b>3</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	18
3.1	CANA-DE-AÇÚCAR.....	18
3.2	ASPECTOS ECONÔMICOS E AMBIENTAIS DA CANA-DE-AÇÚCAR-DE-AÇÚCAR NO BRASIL .....	20
3.3	COLHEITA DA CANA-DE-AÇÚCAR SEM QUEIMA.....	22
3.3.1	Potencial Energético da Palhada da Cana-de-Açúcar .....	23
3.4	EFEITO DA PALHADA NO AMBIENTE AGRÍCOLA E NA CANA-DE-AÇÚCAR. ....	26
3.4.1	Sistema Radicular .....	27
3.4.2	Brotação, Perfilamento e Produtividade de Cana-de-Açúcar .....	32
3.5	PRODUÇÃO E DECOMPOSIÇÃO DE BIOMASSA E SEUS EFEITOS NA QUÍMICA DO SOLO .....	36
<b>4</b>	<b>ARTIGO A: CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE SOQUEIRAS DE CANA-DE-AÇÚCAR SOB DIFERENTES QUANTIDADES DE PALHADA</b> .....	39
4.1 I	INTRODUÇÃO.....	41
<b>4.2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	43
<b>4.3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	47
<b>4.5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	58
<b>4.6</b>	<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	59

<b>5</b>	<b>ARTIGO B: SISTEMA RADICULAR E PRODUTIVIDADE DE SOQUEIRAS DE CANA-DE-AÇÚCAR SOB DIFERENTES QUANTIDADES DE PALHADA .....</b>	<b>60</b>
<b>5.1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>60</b>
<b>5.2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>62</b>
<b>5.3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>66</b>
<b>5.4</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>74</b>
<b>5.5</b>	<b>AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>75</b>
<b>6</b>	<b>ARTIGO C: PRODUTIVIDADE E QUALIDADE INDUSTRIAL DE CANA-DE-AÇÚCAR SOB DIFERENTES QUANTIDADES DE PALHADA.....</b>	<b>77</b>
<b>6.1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>79</b>
<b>6.2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>81</b>
<b>6.3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>83</b>
<b>6.4</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>89</b>
<b>6.5</b>	<b>AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>90</b>
<b>7.</b>	<b>CONCLUSÕES GERAIS .....</b>	<b>91</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>91</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Em função da demanda interna e do volume previsto para exportação de etanol, o Brasil deverá ofertar aos mercados, na safra 2014/15, 659 milhões de toneladas de cana (CONAB, 2015).

As principais áreas produtoras de cana-de-açúcar no Brasil adotaram o sistema de colheita mecanizada e essa prática tende a aumentar, tanto nas áreas atuais, quanto nas de expansão (BRAUNBECK; MAGALHÃES, 2010). Nesse novo sistema, as folhas secas são trituradas e os ponteiros são cortados e lançados sobre a superfície do solo, formando uma cobertura morta denominada palhada, sendo gerada anualmente, mais de 140 milhões de toneladas.

No campo, são encontrados valores de 10 a 30 t ha<sup>-1</sup> de massa seca de palhada, que pode oscilar com a variedade, a idade e a produtividade do canavial (CHRISTOFFOLETI et al., 2007). Essa camada de material vegetal aumenta a infiltração de água no solo, diminui a erosão e a evaporação, diminui a amplitude térmica, principalmente nas camadas superficiais, e aumenta o teor de matéria orgânica, melhorando a estrutura do solo. É, também, fonte de nutrientes para a macro e a microfauna do solo e para a própria cultura da cana-de-açúcar (OLIVEIRA et al., 2003). Um dos efeitos mais significativos do aumento dos teores de matéria orgânica no solo proporcionado pela palhada, é o aumento da capacidade de troca catiônica (CTC). A maior parte dos solos brasileiros é pouco fértil e pobre em matéria orgânica. Nesses solos, a principal forma de aumentar a capacidade de armazenamento de nutrientes é pelo aumento da matéria orgânica.

A palhada como cobertura proporciona um microclima diferenciado, causando alterações químicas, físicas e biológicas no ambiente agrícola. Segundo Souza et al. (2005a), a brotação, a emergência e o crescimento das plantas de cana-de-açúcar são fortemente influenciados pelas mudanças físico-químicas no ambiente de produção. Este fato tem importância, quando se considera que as variedades disponíveis foram desenvolvidas em sistema de cana queimada; de modo que cada variedade pode apresentar resposta diferente quanto à adaptabilidade às mudanças.

Diversos autores (OLIVEIRA et al., 1995; RESENDE et al., 2006) relataram os benefícios obtidos com a manutenção da palhada sobre a superfície do

solo, com ganhos de até 46% na produtividade final. Porém, outros autores (CAMPOS et al., 2008, Campos, 2010) constataram que o volume de palhada sobre a soqueira dificultou a emergência das plantas, causando falha na rebrota e diminuição da produtividade final. Entretanto, esses trabalhos não determinaram que quantidade de palhada seria suficiente para obtenção de tais benefícios ou se os efeitos negativos da palhada sobre a soqueira seriam os mesmos se menores quantidades de palhada fossem deixadas sobre o solo.

A quantificação da palhada necessária para o desenvolvimento de uma produção sustentável e otimizada da cana-de-açúcar também possibilitará que o excedente de palhada possa ser utilizado para a produção de bioeletricidade ou bioetanol, setores que necessitam de grande quantidade desse material. Segundo Lima e Natalense (2010), a utilização da palhada juntamente com o bagaço triplicaria a produção de etanol, sem necessidade de ampliação da área de plantio e produziria o equivalente a 15% do total de energia elétrica consumida até 2020, no Brasil, além de servir como energia complementar à hidroeletricidade.

Desta forma, compreende-se que são primordiais trabalhos que identifiquem a quantidade de palhada que deve permanecer no campo para maior benefício da cultura e sustentabilidade do sistema solo-planta, haja vista a ausência de informação na literatura.

## **2 OBJETIVO GERAL**

Determinar a quantidade de palhada a ser mantida no campo para maior sustentabilidade na produção da cana-de-açúcar, favorecendo o setor sucroenergético por meio do uso da palhada na geração de energia.

### **2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Avaliar o perfilhamento, o índice de área foliar, o diâmetro, o peso e a altura dos colmos, a fim de verificar se a palhada afeta a fenologia e a produtividade da cana-de-açúcar.

- Avaliar o enraizamento da cana-de-açúcar em quantidades de palhada, a fim de observar se estas são capazes de promover alterações.
- Avaliar o teor de sólidos solúveis (Brix), Pol (Porcentagem de Oligossacarídeos), fibra, AR (Açúcares Redutores) e ATR (Açúcares Totais Recuperáveis) a fim de verificar se a quantidade de palhada altera a qualidade industrial da cana-de-açúcar

### **3 REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1 CANA-DE-AÇÚCAR**

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) é uma poacea, monocotiledônea de porte ereto, que apresenta os seguintes estádios fenológicos: brotação e emergência, perfilhamento, crescimento e maturação dos colmos. A emergência do broto (chamado de colmo primário) ocorre de vinte a trinta dias após o plantio. O broto surge acima da superfície do solo, rompe as folhas da gema e se desenvolve verticalmente. Esta fase depende da qualidade da muda, do ambiente de produção, da época e do sistema de plantio. Neste estágio ocorrem, ainda, o enraizamento inicial (duas a três semanas após a emergência) e o aparecimento das primeiras folhas. Iniciam-se, então, o perfilhamento e a formação das touceiras. O perfilhamento é o processo de emissão de colmos por uma mesma planta, os quais recebem a denominação de perfilhos. Esse processo é regulado por hormônios e resulta no crescimento de brotos, que vão em direção à superfície do solo. Por meio desse processo, ocorre a formação da touceira da cana-de-açúcar. É importante destacar que a formação do sistema radicular da touceira é resultado do desenvolvimento das raízes de cada perfilho. No auge do perfilhamento, ocorre a total cobertura do solo pela folhagem das plantas e cada touceira possui o máximo de perfilhos, que é variável, dependendo das características de cada variedade (CASAGRANDE, 1991).

A partir do auge do perfilhamento, ocorre o crescimento dos colmos e um crescimento vigoroso do sistema radicular. Os colmos continuam o crescimento e desenvolvimento, ganhando altura e iniciando o acúmulo de açúcar na base. O crescimento é estimulado por luz, umidade e calor. Durante essa fase, as

folhas mais velhas começam a ficar amareladas e secam. O crescimento do sistema radicular torna-se mais intenso nesse período, tanto nas laterais, quanto em profundidade. A maior parte das raízes está nos primeiros quarenta centímetros de profundidade, sendo esta considerada a profundidade efetiva ou a zona principal no que concerne à absorção de água e nutrientes por parte da cultura, podendo variar conforme o manejo do solo. Ocorre, então, a definição da população final de colmos, variável em função das condições de solo e clima. A maturação inicia-se junto com o crescimento intenso dos colmos e o canavial pode atingir altura acima de três metros (CASAGRANDE, 1991).

É válido mencionar que o excesso de açúcar permanece armazenado na base de cada colmo. Quando as touceiras atingem altura igual ou superior a dois metros, nota-se o amarelecimento e a conseqüente seca das folhas que se encontram na altura mediana da planta, indicando que já está sendo depositado açúcar nessa região. A maturação final ocorre no período entre o outono e o inverno; com a presença de chuvas variáveis e temperaturas mais baixas, existe maior atividade de maturação e menor atividade de crescimento, sendo que há intenso armazenamento de açúcar. O momento de colheita é definido em função da variedade, época de plantio e conseqüente duração do ciclo, manejo da maturação e condições climáticas no ambiente (GASCHO; SHIH, 1983).

Vários fatores interferem na produção e na maturação da cultura da cana-de-açúcar, sendo os principais a interação edafoclimática, o manejo da cultura e a cultivar escolhida, constantemente estudados sob diferentes aspectos. Como o Brasil possui grande extensão territorial, a cana-de-açúcar é cultivada em vários tipos de solos, que estão sob influência de diferentes tipos de climas, o que resulta em vários tipos de ambientes para a produção desta cultura (DIAS, 1997).

Além de matéria-prima para a produção de açúcar e álcool, seus subprodutos e resíduos são utilizados para cogeração de energia elétrica, fabricação de ração animal e fertilizante para as lavouras, havendo aproveitamento, praticamente completo da cana-de-açúcar (EMBRAPA, 2013a).

Assim, os produtos da cana-de-açúcar promovem o desenvolvimento econômico e ajudam de forma eficaz a suprir a necessidade de combustíveis limpos e renováveis no setor de transporte (UNICA, 2013a).

### 3.2 ASPECTOS ECONÔMICOS E AMBIENTAIS DA CANA-DE-AÇÚCAR-DE-AÇÚCAR NO BRASIL

A crise mundial do petróleo ocorrida na década de 1970, afetou seriamente a economia brasileira, pois o país importava 80% do necessário para atender a demanda interna. A pressão inflacionária advinda desse fato exigiu medidas imediatas do governo (FRACARO, 2005). Foram então criados vários centros de pesquisa com o objetivo de encontrar uma alternativa energética renovável para substituir o petróleo, sendo propostos alguns programas: Proóleo, Procarvão e Proálcool, sendo o último o que teve maior apoio e resultado (SANTIN, 2006).

Com isso, a produção de álcool começou a ganhar impulso contando com a ajuda governamental, que concedeu financiamentos e subsídios ao setor. Nesse período, a produção de álcool passou de 555,6 mil m<sup>3</sup> (safra 1975/76) para 2.490,6 mil m<sup>3</sup> (safra 1978/79), um aumento superior a 300% no período.

O início da década de 1980 foi extremamente relevante para o desempenho do programa, marcando seu auge e expansão, como também o início de seu declínio, em meados de 1985. O governo atingiu seu objetivo, que era consolidar o programa como alternativa energética.

As dificuldades financeiras e sucessivas crises de planos econômicos no final da década de 1990 estimularam a criação de entidades que tinham o intuito de amenizar os problemas do setor sucroalcooleiro, buscando soluções adequadas para o setor. Foram criados o BA (Brasil Álcool) e a BBA (Bolsa Brasileira de Álcool), que tinham como objetivo diminuir o excedente da produção de etanol do mercado e conseguir melhores preços para o produto; e também a criação da UNICA (União da Agroindústria Canavieira de São Paulo) e da SUCROÁLCOOL (Associação Paulista da Agroindústria Sucroalcooleira), que reuniam/representavam parcela expressiva dos empresários do setor no país.

Apesar dos vários problemas e crises enfrentadas durante o processo de implantação e produção de etanol, essa fase foi fundamental para alavancar as pesquisas de cana-de-açúcar e etanol no Brasil, difundir sua utilização e colocar o país na liderança mundial em tecnologia de produção.

A partir da crise energética da década de 1970 e das principais conferências sobre o meio ambiente, as questões sobre a eficiência da geração e do

uso da energia foram intensificadas e ampliadas, considerando, principalmente, os seus impactos ambientais, buscando maior uso de fontes renováveis de energia, que pudessem contribuir para a redução das emissões de CO<sub>2</sub>. A Agenda 21 e o Protocolo de Quioto sugerem capacitação, educação e difusão do conhecimento técnico e científico, além da retomada da sustentabilidade, substituindo os combustíveis fósseis por fontes renováveis de energia (LIMA; NATALENSE, 2010).

Neste sentido, a cana-de-açúcar tem mostrado grande eficiência, fazendo com que o Brasil e o mundo voltem suas atenções a essa cultura. A corrida de diversos países na busca de alternativas ao petróleo coloca o Brasil numa posição de vantagem, pois o país apresenta as melhores condições de oferta de terra, clima e tecnologia para a produção de etanol em grande escala. O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com quase dez milhões de hectares plantados, e perspectiva de elevação da produção anual para um bilhão de toneladas, o que coloca o país na liderança mundial em tecnologia de produção de etanol. Isso se traduz em um dos menores custos de produção de álcool e também de açúcar. No país, a cana é plantada no Centro-Sul e no Norte-Nordeste, o que permite dois períodos de safra (UNICA, 2013b).

O mercado sucroenergético movimenta, atualmente, cerca de R\$ 40 bilhões por ano, com faturamentos diretos e indiretos, o que corresponde a 2,35% do PIB brasileiro (EMBRAPA, 2013a). Na safra de 2014/15, o Brasil deverá produzir cerca de 642 milhões de toneladas de cana-de-açúcar. A produção de álcool de 28,7 bilhões de litros de álcool (CONAB, 2014), evidencia a importância da cultura na economia do país.

No entanto, essa liderança e competitividade mundial não estão garantidas no médio e longo prazo, pois países como a Austrália e Tailândia têm custos de produção de açúcar não muito maiores e esse último país pode aumentar ainda mais sua produção total. Nesse sentido, Lima e Natalense (2010) apontam que, para continuar crescendo em condições competitivas, é imprescindível a realização de investimentos em pesquisas em todas as áreas do setor e enfatizam, ainda, a necessidade de maior conhecimento e aproveitamento energético da cultura.

### 3.3 COLHEITA DA CANA-DE-AÇÚCAR SEM QUEIMA

A queima dos canaviais, antecedendo a colheita, é prática adotada nas diversas regiões canavieiras do Brasil e do mundo, com o objetivo de facilitar o corte e diminuir os acidentes de trabalho com os cortadores de cana-de-açúcar. Essa prática está associada a impactos ambientais, tais como: elevada emissão de gases poluentes na atmosfera devido à queima; degradação dos solos; e poluição dos centros urbanos. A recente tendência de adoção de práticas agrícolas que levem à maior sustentabilidade do sistema, pressiona a agroindústria sucroenergética a rever seus processos, incluindo a colheita da cana-de-açúcar sem queima prévia ou sem despalha a fogo. Assim, tanto nas áreas atuais, quanto nas de expansão, a colheita tende a ser totalmente mecanizada, deixando a semimecanizada apenas para locais de grande inclinação e de difícil acesso para as colhedoras. E o artifício de pré-limpeza da cana com fogo deve ser completamente abolido nos próximos anos (BRAUNBECK; MAGALHÃES, 2010).

Conforme acordo assinado em 2007 entre a UNICA (União da Indústria de Cana-de-Açúcar) e o governo do Estado de São Paulo, onde se concentra mais da metade da produção brasileira de cana-de-açúcar, 85% dos canaviais controlados por usinas no Estado de São Paulo já realizam a colheita de forma mecanizada. O prazo final para a eliminação do uso do fogo nas áreas planas, em que as máquinas podem operar, é no início da safra 2014/2015. Para as demais áreas, com inclinação superior a 12 graus, o prazo de referência é a safra 2017/2018 (UNICA, 2014). Esses avanços estão fundamentados, principalmente, nas restrições impostas pela legislação de queima (lei 11.241/02 e Protocolo Agroambiental assinado em 2007), falta de mão de obra, redução do custo em relação à colheita semimecanizada e à expansão do setor.

Nesse sistema de colheita de cana-de-açúcar, as folhas secas, os ponteiros e as folhas verdes são cortados e lançados sobre a superfície do solo, formando uma cobertura morta denominada palhada. Valores variando de 10 a 30 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca da palhada têm sido encontrados nas regiões de produção da cana-de-açúcar, incluindo cana planta e soqueira (GAVA et al., 2003; OLIVEIRA et al., 2003, MELLO-IVO et al., 2006). As diferenças são em função da variedade cultivada, da idade do canavial e do ambiente de cultivo. Dessa forma, a cada ano

mais de 100 milhões de toneladas de palhada estão disponíveis nesse novo sistema, com tendência a elevar essa quantidade conforme se aumenta a colheita mecanizada no país (UNICA, 2013a).

Além de contribuir para a diminuição da erosão, a manutenção da palhada da cana-de-açúcar na superfície de plantações que adotam o sistema de colheita mecanizada – a chamada cana crua ou verde, contribui, significativamente, para a redução das emissões de carbono do solo para a atmosfera, na forma de gás carbônico. Em experimento realizado ao longo de 50 dias, em uma plantação que foi dividida em três áreas, sendo uma coberta por 50% de palha, a segunda por 100% e a terceira sem palha, os pesquisadores observaram que as áreas cobertas por palha emitiram 400 quilos por hectare a menos de carbono (correspondente a quase 1,5 mil quilos de gás carbônico) do que as áreas onde a palha foi retirada. Uma das hipóteses do porquê da palha da cana-de-açúcar contribuir para diminuir as emissões e reter o carbono do solo é que sua presença interfere nos ciclos de temperatura e umidade. Isso faz com que a temperatura no interior do solo caia e a umidade aumente, diminuindo a oxigenação e conservando a matéria orgânica no interior do solo (PANOSSO et. al., 2011).

### 3.3.1 Potencial Energético da Palhada da Cana-de-Açúcar

Diversos setores da indústria competem pela utilização da palhada remanescente da colheita da cana-de-açúcar, que possui poder calorífico na ordem de 15 MJ por kg de matéria seca. Considerando-se que a palhada corresponde a, aproximadamente, 14% da produção de cana-de-açúcar (MARIANI FILHO, 2006), e que na safra de 2013/14 a produção foi de 659 milhões de toneladas desta cultura, pode-se estimar que, nessa safra, foram produzidos aproximadamente, 92 milhões de toneladas de palhada, cuja queima liberaria cerca de 1,33 trilhão de MJ ou cerca de 373 milhões de MWh.

A palhada representa, portanto, excelente opção para aumentar a disponibilidade de biomassa para cogeração de energia nas usinas. A maior parte das usinas brasileiras já iniciou um processo de otimização do balanço térmico das suas plantas industriais, com o objetivo de prepará-las para comercializar o

excedente de energia elétrica cogeração. Quando o setor sucroenergético alcançar toda a sua capacidade, poderá produzir 30 milhões de MWh/ano, o que representa 9% da energia gerada no Brasil em 2006 (BRAUNBECK; MAGALHÃES, 2010).

Cada vez mais as empresas enxergam na geração de energia elétrica a partir da palha e do bagaço da cana-de-açúcar uma alternativa sustentável de eliminar resíduos e atrair mais divisas. Na safra de 2013/14, apenas o Estado de São Paulo exportou para o sistema elétrico nacional 8.341.000 MWh e, incluindo a energia destinada ao consumo das próprias usinas, atingiu 14.731.000 MWh, que representa cerca de 20% da geração total de energia desse Estado (UNICA, 2013a).

Entre 2005 e 2010, o setor deu um salto na comercialização de energia. Utilizando apenas o bagaço da cana-de-açúcar, passou do 1,1 milhão para 9,2 milhões de MWh, um acréscimo de 736%, que corresponde a 3% do total da energia elétrica consumida no país, com a meta de atingir 15% do fornecimento de energia elétrica brasileira até 2020. O percentual significa, aproximadamente, 13.158 MW médio, o que equivale a três vezes a capacidade da usina hidrelétrica de Belo Monte, no Pará, a terceira maior do mundo, cuja garantia física instalada é de 4.571 MW médio, em 2019, quando estiver operando com capacidade total (CEISE, 2014).

A palha possui o dobro de capacidade de geração de energia que o bagaço, e, se utilizada para essa finalidade, poderia acrescentar cerca de 50% no total de energia gerada pelo setor. Outra grande vantagem da bioeletricidade é servir como energia complementar à hidroeletricidade nos meses de estiagem, de abril a novembro, quando os reservatórios costumam ficar com os baixos níveis (UNICA, 2013a).

Segundo Ripoli et al. (2000), uma tonelada de palhada equivale a algo entre 1,2 e 2,8 EBP (equivalente barris de petróleo), sendo que, em 1 hectare de canavial, encontram-se de 10 a 30 toneladas de palhada (peso seco).

### 3.3.2 Etanol Celulósico

O relatório do Projeto Etanol, gerado pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE/MCT), mostrou que o Brasil poderia produzir etanol

suficiente para substituir 10% de toda a gasolina consumida no mundo em 2025. Para tanto, seria necessária uma produção de 205 bilhões de litros de etanol por ano. Para que um aumento desse porte na produção de etanol possa ser atingido, é preciso investir em ciência e tecnologia em todo o ciclo da cana-de-açúcar. Um aumento expressivo na produção de etanol implica em aumento substancial na produtividade do canavial, em termos de litros por hectare (CTBE, 2014).

Existem diversos fatores que podem influenciar nesse aumento de produtividade, e um deles (talvez o mais expressivo) é a possibilidade de se utilizar toda a biomassa da cana-de-açúcar como matéria-prima para a produção de etanol, e não somente o caldo, como se faz atualmente. Estima-se que isso significaria um aumento na produção em 40% (LIMA; NATALENSE, 2010).

Dawson e Boophaty (2007) também ressaltam que o bagaço e a palhada de cana-de-açúcar, além de serem produzidos em grandes quantidades, apresentam-se como matéria-prima barata e prontamente disponível como fonte de biomassa lignocelulósica renovável. Grande esforço para a conversão do material lignocelulósico a etanol tem sido empreendido, na chamada segunda geração de etanol ou etanol celulósico. Essa conversão acontece em duas fases principais, que são a hidrólise a açúcares redutores fermentáveis e sua posterior fermentação em etanol. Além disso, pesquisas caminham para o desenvolvimento de novas variedades de cana-de-açúcar, que, além da sacarose, produzirão mais bagaço e mais palha, produzindo mais etanol (SUNG CHENG, 2002).

Os três principais componentes da lignocelulose são a celulose, a hemicelulose e a lignina. A lignina é um polímero aromático, que sela a celulose e a hemicelulose, conferindo ao material rigidez e resistência à umidade. A celulose e a hemicelulose são compostas por longas cadeias de moléculas de açúcar, que podem ser hidrolisadas para produzir monômeros. Alguns dos monômeros de açúcar, as hexoses, podem ser diretamente fermentados em etanol por leveduras (LIMA; NATALENSE, 2010).

Neste contexto, a implantação de tecnologia para a utilização do bagaço e da palhada para produção de etanol parece ser irreversível. Quando o foco é o aumento de energia a partir da biomassa para substituição de combustíveis fósseis, com consequente redução de emissões de gases do efeito estufa, a

utilização da palhada da cana-de-açúcar para geração de energia é apontada por Macedo (2014) como uma grande alternativa.

Assim, com o conceito atual de “cana-energia”, onde se prevê forte expansão das áreas plantadas, fica em evidência a necessidade de estudos para que se aponte a quantidade adequada de palhada que deve permanecer no campo, a fim de se obter o máximo benefício em termos agronômicos ao solo e à cana-de-açúcar, e a quantidade de palhada que pode ser disponibilizada para aproveitamento energético direto, uma vez que representa, aproximadamente, um terço da energia da cana-de-açúcar.

### 3.4 EFEITO DA PALHADA NO AMBIENTE AGRÍCOLA E NA CANA-DE-AÇÚCAR

Embora o potencial de utilização da palhada na indústria seja considerável, o seu uso como cobertura vegetal é o fator principal na mudança do cultivo tradicional da cana-de-açúcar queimada para a cana crua.

Após a colheita mecanizada, a palha que permanece sobre o solo forma uma densa camada de palhada, sendo a quantidade produzida dependente das características genéticas das variedades utilizadas, da idade e condições de cultivo.

Ripoli et al. (1991) e Abramo Filho et al. (1993) encontraram valores de  $15 \text{ t ha}^{-1}$  de palhada na variedade SP71-6163. Manechini (1997) estudou três variedades no estágio de 1º corte e idade de 16 meses, colhidas mecanicamente sem queima. Os resultados foram os seguintes para a palhada, em peso seco: SP80-185 =  $15,6 \text{ t ha}^{-1}$ ; SP79-1011 =  $13,6 \text{ t ha}^{-1}$ ; e SP79-2233 =  $15,0 \text{ t ha}^{-1}$ . Figueiredo et al. (2002), pesquisando a variedade SP80-1842, segundo corte, também encontrou valores de  $14,75 \text{ t ha}^{-1}$  após o corte e  $4,22 \text{ t ha}^{-1}$  no final do ciclo, um ano após a colheita. De maneira geral, esta camada de palhada pode atingir valores de 10 até  $30 \text{ t ha}^{-1}$ , oscilando em razão da variedade e idade do canavial (CHRISTOFFOLETI et al., 2007).

Esse “colchão” de palhada ocasiona alterações nas condições químicas, físicas e biológicas do ambiente agrícola. Neste sentido, Abramo Filho et al. (1993) e Oliveira et al. (2003) indicaram algumas mudanças que ocorrem com a

presença desta no campo, tais como: diminuição da temperatura do solo, aumento da umidade e infiltração de água no solo, diminuição da erosão e da evaporação, melhoria na estrutura do solo e aumento da CTC. É, também, fonte de nutrientes para a macro e a microfauna do solo e para a própria cultura da cana-de-açúcar. Entretanto, os mesmos autores salientam que não há quantificação desses efeitos em diferentes quantidades de palhada.

Além disso, a manutenção da palhada de cana-de-açúcar sobre o solo também apresenta consequências sobre as infestações de pragas e doenças, de modo que, frequentemente, são descritas áreas com aumento na infestação de cigarrinha (*Mahanarva fimbriolata*), que segue caracterizado como a principal praga em áreas de cana crua. Estes insetos são beneficiados pela maior manutenção de umidade junto ao solo, em decorrência do microclima criado pela palhada, podendo causar diminuição da produtividade final, conforme o nível de infestação (GUIMARÃES et al., 2008).

A infestação por plantas daninhas também é modificada. Estudos realizados por diferentes autores demonstraram que espécies de plantas daninhas apresentam comportamento diferenciado em função da quantidade de palha depositada sobre o solo. Plantas daninhas normalmente consideradas importantes na cana-de-açúcar, como *Brachiaria decumbens*, *B. plantaginea*, e *Digitaria horizontalis*, podem ser controladas por uma quantidade de 15 t ha<sup>-1</sup> de palhada (VELINI; NEGRISOLI, 2000). Já para *Ipomoea grandifolia* e *Euphorbia heterophylla*, por exemplo, o controle pela palhada não é eficiente (Martins et al., 1999).

#### 3.4.1 Sistema Radicular

As características do sistema radicular de cana-de-açúcar têm papel essencial na regeneração das soqueiras após a colheita (ALVAREZ; CASTRO; NOGUEIRA, 2000) e, conseqüentemente, na produtividade, principalmente, porque ele é responsável pela reserva de nutrientes para a rebrota das soqueiras.

O crescimento das raízes responde ao ambiente do solo, criando plasticidade na forma e no tamanho do sistema radicular (SMITH; INMAN-BAMBER; THORBURN, 2005). Assim, a arquitetura do sistema de raízes da cana-de-açúcar

tem alterações tanto entre ciclos, quanto dentro de um mesmo ciclo. O tamanho e a distribuição do sistema radicular são afetados pela distribuição e disponibilidade da água do solo, causando diferenças na capacidade das plantações em explorar recursos mais profundos do solo.

Assim, o conhecimento do comportamento do sistema radicular da cana-de-açúcar em determinados manejos, permite a utilização racional das técnicas agrônomicas, como: o sistema e o espaçamento de plantio; a aplicação dos fertilizantes; as operações de cultivo; a drenagem dos solos; os sistemas de irrigação; o controle da erosão; o uso de culturas intercalares, entre outros.

Até meados do século passado, as raízes foram consideradas a “metade oculta” dos vegetais, com significativa escassez de resultados de pesquisa nesse tema em todo o mundo. As razões para essa carência de dados são, historicamente, explicáveis pelas dificuldades metodológicas, pela própria inacessibilidade ao sistema radicular como objeto de experimentação, pela sua complexidade tridimensional e por sua marcada variabilidade espacial e temporal (BEAUCLAIR; SCARPARI, 2007).

Durante muitos anos, o tempo gasto nas atividades de quantificação do sistema radicular e as incertezas quanto aos resultados, constituíram fortes desestímulos ao trabalho com raízes. Atualmente, existe consenso acerca da importância de estudos das raízes *in situ* para o manejo das lavouras (ZONTA et al., 2006).

O sistema radicular da cana-de-açúcar é muito amplo e bem desenvolvido, do tipo fasciculado (BEAUCLAIR; SCARPARI, 2007). Em cana planta, as primeiras raízes, denominadas raízes de fixação, desenvolvem-se a partir dos primórdios radiculares do rebolo plantado. Durante os primeiros 30 dias, a planta sobrevive de reservas nutricionais contidas nos rebolos e no material (água e sais minerais) absorvido pelas raízes de fixação. Posteriormente, surgem as raízes dos perfilhos (LUCCHESI, 2001) Entre 90 e 120 dias após o plantio, 100% do sistema radicular está distribuído nos primeiros 30 cm de solo, onde a maior parte é constituída pelas raízes dos colmos, sendo que as raízes originárias da muda plantada, praticamente, não mais existem (CÂMARA, 1993).

É formado um sistema radicular próprio para cada perfilho, que comporta-se como uma planta independente. Assim, na medida em que aumenta o

perfilhamento, aumenta o volume de raízes explorando o solo até um ponto de estabilização, quando, simplesmente, ocorrem renovações das raízes velhas (BEAUCLAIR; SCARPARI, 2007).

Na cana-de-açúcar, são descritos, basicamente, três tipos de raízes: as raízes superficiais ou fibrosas, que se concentram nos primeiros 30 a 40 cm do perfil do solo, são bem ramificadas e extremamente absorventes; as raízes de fixação, que atingem profundidades maiores, ultrapassando facilmente 50 cm de profundidade. Entretanto, ao contrário do que sugere o nome, a função das raízes de fixação não se restringe exclusivamente à fixação, pois podem perfeitamente absorver água e nutrientes, apesar da menor eficiência que as raízes superficiais. Finalmente, atingindo profundidades frequentemente maiores que quatro metros, estão as raízes-cordão, as quais são muito importantes na absorção de água, e justificam a exigência de solos profundos para o cultivo da cana-de-açúcar (DILLEWIJN, 1952; CASAGRANDE, 1991).

O sistema radicular mantém-se em atividade por um período determinado após o corte da cana, sendo substituído progressivamente pelos sistemas radiculares dos perfilhos da soqueira (LUCCHESI, 2001). Casagrande (1991) ressalta que, na rebrota da touceira (após o corte), é formado um novo sistema de raízes, onde as raízes velhas deixam de funcionar gradativamente.

Diversos autores associaram a dinâmica de desenvolvimento do sistema radicular da cana-de-açúcar à disponibilidade de água no solo (VASCONCELOS, 2002, SMITH; INMAN-BAMBER; THORBURN, 2005). Vasconcelos (2002) verificou que a morte ou renovação do sistema radicular não seria devida ao corte da cana, mas sim à condição hídrica a que a cultura está submetida em determinado período de desenvolvimento. Este autor constatou que, da segunda quinzena de outubro de 1999 a janeiro de 2000, houve grande disponibilidade hídrica, que resultou em grande desenvolvimento radicular. Em um período posterior, houve déficit hídrico, condição na qual as plantas não conseguiram manter a grande quantidade de raízes novas desenvolvidas durante o período anterior, resultando em morte de raízes.

Aguiar (1978) ressalta que as raízes superficiais são as primeiras a morrerem durante o período de estiagem, e são também as primeiras a se renovarem durante o período chuvoso. Faroni (2005) chegaram as mesmas

conclusões, quando avaliaram as raízes ativas em cana-de-açúcar cultivada em Latossolo Vermelho distrófico e observaram que épocas de seca podem provocar mortalidade de raízes, ocorrendo renovação parcial destas num mesmo ciclo da soqueira, quando o solo volta a ter umidade suficiente. Quando não houve deficiência hídrica severa, observaram que a quantidade de raízes vivas e ativas aumentou com o passar do tempo, após a colheita.

A manutenção da palhada resultante da colheita mecanizada sobre o solo proporciona um microclima caracterizado por elevada umidade relativa, restringindo a perda de água do solo por evaporação. Desta forma, o solo sob palhada apresenta maior disponibilidade hídrica do que o solo descoberto, principalmente em épocas de baixa precipitação pluvial; por isso, variedades com diferentes capacidades de desenvolvimento radicular e tolerância à seca reagem distintamente a essas condições, e esses fatores interferem na absorção de nutrientes e têm grande influência no desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea, bem como na produtividade (VASCONCELOS, 2002). Portanto, quanto maior o déficit hídrico, mais favorável tende a ser a manutenção da palhada sobre o solo.

A temperatura do solo também influencia o desenvolvimento das raízes. Em solo sob palhada a variação de temperatura é menor, o que pode resultar em maior quantidade de raízes em relação ao solo descoberto (VASCONCELOS; GARCIA, 2005).

Vasconcelos (2002), avaliou o desenvolvimento do sistema radicular a 0-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60 e 0,60-0,80 m de profundidades e a parte aérea de soqueiras de seis variedades de cana-de-açúcar sob dois sistemas de colheita - crua mecanizada e queimada manual, observando redução da amplitude térmica do solo e aumento do teor de água e de matéria orgânica no solo, no sistema de colheita da cana crua mecanizada. Encontrou ainda, grandes diferenças quanto à quantidade e à uniformidade de distribuição de raízes. Exclusivamente na camada de 0-0,20 m, constatou maior desenvolvimento radicular da cana colhida crua mecanicamente; diferença que o autor atribuiu à maior umidade do solo sob palhada no período seco, maior teor em cálcio proveniente da decomposição das palhadas na superfície do solo, e maior teor de matéria orgânica proveniente da atividade microbiológica.

Estudando o crescimento de raízes de cana-de-açúcar colhida com queima e sem queima, até a profundidade de 1 m, Alvarez, Castro e Nogueira (2000) verificaram que 75% das raízes de cana colhida sem queima situaram-se nos primeiros 0,40 m de profundidade do solo no primeiro ano de análise e 70% delas concentraram-se nessa profundidade na avaliação de segundo ano. Medina et al. (2002) avaliaram o enraizamento da variedade RB 785148, em Latossolo Vermelho eutroférico, até a profundidade de 0,50 m, encontraram maior concentração de raízes na camada de 0 a 0,25 m. Estes resultados assemelham-se aos obtidos por Medina (1993), quando avaliou o enraizamento da cana-de-açúcar, variedade IAC 48580, em Terra Roxa Estruturada distrófica. Costa et al. (2007), avaliando a distribuição radicular vertical em Latossolo Vermelho Amarelo, das cultivares RB83-5486 e RB83-5089, verificaram que os primeiros 0,18 m de profundidade mostraram maior comprimento de raízes. A redução no comprimento radicular foi acentuada, quando se passou da camada de 0 – 0,18 para 0,18 – 0,36 m. Já nas maiores profundidades, a redução no comprimento radicular não foi acentuada. Em Nitossolo Vermelho eutroférico, as mesmas cultivares apresentaram redução acentuada no comprimento radicular nas camadas mais profundas, exibindo menores valores em relação àqueles encontrados no Latossolo Vermelho Amarelo, sobretudo para o cultivar RB83-5486.

A distribuição horizontal de raízes de cana-de-açúcar pode ser influenciada pela posição em que é aplicada a adubação de soqueiras e pelo efeito do tráfego de máquinas e implementos. O acúmulo de nutrientes em determinado local no solo pode proporcionar maior crescimento de raízes, devido à maior disponibilidade de nutrientes. O efeito do tráfego de máquinas e implementos pode ocasionar maior compactação em locais específicos, que apresentarão condições desfavoráveis ao desenvolvimento radicular. Como o tráfego ocorre, principalmente, nas entrelinhas, maior compactação e menor quantidade de raízes são esperadas nesse local. Trabalhos mostraram efeitos do tráfego de máquinas nas linhas de cana (Vasconcelos, 2002; Faroni, 2005). Faroni (2005) encontrou 65% da quantidade de raízes de cana-de-açúcar na projeção das linhas e somente 18% na distância de 0,14 a 0,42 m. Alvarez, Castro e Nogueira (2000) também observaram maior quantidade de raízes bem próximo às linhas de cana.

Vasconcelos (2002) menciona que a quantidade e a distribuição de raízes de cana-de-açúcar mudam ao longo do tempo, devido às alterações naturais no clima e no solo e à ação antrópica. Esse autor encontrou diferença entre cultivares quanto à distribuição de raízes em profundidade no perfil do solo, afirmando que a maior quantidade de raízes em camadas mais profundas é atribuída à tolerância ao alumínio existente em determinados cultivares. Segundo esse autor, as alterações do ambiente edáfico devidas à presença da palhada sobre o solo podem alterar a dinâmica de cálcio e alumínio, dois elementos que exercem grande efeito no desenvolvimento do sistema radicular.

Em relação às características radiculares que podem ser mensuradas, cita-se o comprimento radicular (m ou km de raízes), que determina o potencial de absorção de água e nutrientes do solo e a massa radicular (g ou kg), que determina o estoque total de matéria subterrânea e nutriente alocados (ZONTA et al., 2006, AZEVEDO, 2008).

#### 3.4.2 Brotação, Perfilhamento e Produtividade de Cana-de-Açúcar

A brotação, a emergência e o crescimento das plantas também são influenciados pelas mudanças no ambiente de produção. Isso é importante ao se considerar que as variedades de cana-de-açúcar disponíveis foram desenvolvidas em sistema de cana queimada; de modo que cada variedade pode apresentar resposta diferente quanto à adaptação à cana-de-açúcar colhida crua (SOUZA et al., 2005a).

De modo geral, a brotação e o início do perfilhamento tendem a ser mais lentos sob a camada de palhada residual da colheita mecanizada do que na ausência desta. Isso se deve ao fato de que essa cobertura atua como barreira mecânica e, principalmente, como redutor da luminosidade para os primeiros perfilhos brotados, enquanto estes ainda estão sob a palhada, determinando redução do processo fotossintético inicial (VASCONCELOS, 2002). Existe também a possibilidade de que os compostos aleloquímicos liberados pela palhada, além de seus efeitos sobre as plantas daninhas, venham a causar intoxicação na própria cultura (VELINI; NEGRISOLI, 2000). Este fenômeno é conhecido como

autoalelopatia. As variedades de cana respondem diferentemente à inibição causada pela palhada na brotação e no perfilhamento inicial.

Tavares, Lima e Zonta (2010) avaliaram sistemas de preparo do solo e de colheita sobre o crescimento e a produtividade da cana planta, variedade SP79-1011. Os tratamentos consistiram em preparo convencional e cultivo mínimo em cana crua e cana queimada. Avaliaram o crescimento da cultura, o aporte de matéria orgânica e o rendimento da cana-de-açúcar. Concluíram que, com a manutenção da palhada na superfície, houve aumento no perfilhamento na fase intermediária e no final da cultura bem como maior altura aos 357 DAP. Após 16 anos de cultivo com e sem queima da palhada, os autores observaram maior produtividade de ponteiros, incrementando o rendimento dos colmos em cana crua. Os tratamentos com cultivo mínimo propiciaram, inicialmente, aumento do diâmetro do colmo e maior produtividade de folhas na colheita. Para altura de colmos, não houve diferenças significativas entre os sistemas de cultivo, em nenhum período de crescimento.

Vasconcelos (2002), trabalhando com seis variedades e considerando as médias das segunda e terceira socas, constatou que a variedade IAC 86-2210 apresentou número estatisticamente igual de perfilhos em ambos os sistemas de colheita (crua mecanizada e queimada manual), a partir do primeiro bimestre após o corte. Contudo, a variedade RB72454 manteve em todo o ciclo de desenvolvimento maior número de perfilhos, quando colhida após queima da palha. Esse mesmo autor salienta que a maioria das variedades apresenta menor perfilhamento sob palhada no início do desenvolvimento, mas iguala-se ao perfilhamento livre de palhada após alguns meses. Quanto à produção final (em toneladas de cana por hectare - TCH), constatou que a variedade RB72454 foi a mais afetada negativamente pelos efeitos da colheita mecanizada, apresentando uma redução da produção de colmos da ordem de  $13,92 \text{ t.ha}^{-1}$ , quando comparada com a produção obtida no sistema de colheita manual de cana queimada.

Quanto à mudança na temperatura do solo, Timm (2002) avaliou em Piracicaba, SP, em solo classificado como Terra Roxa Estruturada, o efeito do manejo da palhada da cana-de-açúcar (variedade SP 803280) na primeira soqueira (corte realizado em outubro/1998). Verificou que a cobertura vegetal reduziu as temperaturas médias na camada superficial do solo, nos meses mais quentes (novembro e dezembro) na ordem de  $7 \text{ }^\circ\text{C}$ , evitando picos de temperatura na

superfície durante o período inicial de estabelecimento da soqueira. No período de inverno (junho), entretanto, a temperatura do solo coberto não diferiu do solo sem palhada. A cobertura vegetal, contudo, afetou negativamente o desenvolvimento da cultura, reduzindo o número de colmos e o peso fresco dos ponteiros, em torno de 13%, que correspondeu a 58,8 t ha<sup>-1</sup> em solo descoberto e 51,1 em solo sob palhada.

Rozeff (1995) ratifica as vantagens da cana crua em relação à retenção de umidade pela palhada, principalmente em locais com problemas de déficit hídrico, como diminuição da necessidade de irrigação e maior conteúdo de açúcar nos colmos após a colheita, por não ocorrer perda por exsudação causada pela queimada, resultando em maior eficiência de cultivo. Andrade et al. (2002) também observaram maior economia de água de irrigação em torno de 14%, no tratamento solo coberto em relação ao sem palhada na superfície.

De modo geral, em regiões canavieiras do Brasil e do mundo, onde a precipitação pluvial é pequena ou irregular, a presença da palhada sobre o solo também tem contribuído para elevar a produtividade da cana-de-açúcar (BALL-COELHO et al., 1993).

Wood (1991) relata o efeito positivo da presença de palhada em solos com boa taxa de drenagem, ou em regiões com precipitação pluvial insuficiente ou irregular. Ball Coelho et al. (1993) observaram que a manutenção da palhada sobre o solo causou aumentos de 43% na produção de matéria seca da cana-de-açúcar em Argissolo óxico. Oliveira, Urquiaga e Boddey (1995) avaliaram a produção de um canavial da segunda até a sétima soqueira, encontrando diferença de 24% a mais na produção da cana crua em relação à cana queimada. Gava et al. (2001) avaliaram o crescimento da cana-de-açúcar a campo, com e sem palhada, ao longo do ciclo. Observaram que o acúmulo de matéria seca na parte aérea nos diferentes estádios de crescimento e na colheita da soqueira de cana-de-açúcar não é alterado pela cobertura da superfície do solo por palhada. Tais resultados estão de acordo com os obtidos por Alvarez (1998), que não encontrou diferenças entre o crescimento de cana-de-açúcar com ou sem a presença da palhada, em dois ciclos vegetativos.

Alvarez e Castro (1999) também compararam o crescimento ao longo de dois ciclos da variedade SP 701143, colhida mecanicamente, e após

queima, colhida manualmente. Concluíram que os índices biométricos no início e no final do ciclo da primeira soqueira apresentaram valores mais altos do que os da cana queimada. Na segunda soqueira, os dados de diâmetro de colmos e IAF foram maiores em cana crua, aos 241 DAC, e os dados de altura de plantas, matéria seca de colmos, folhas e raízes foram significativamente maiores em cana queimada. O perfilhamento da cana crua não apresentou diferenças significativas, que confirmassem a influência negativa da palhada na rebrota. A diminuição na altura da segunda soqueira na cana crua, foi atribuída ao ataque de cigarrinhas observado em campo, uma vez que não houve correlação entre a altura e parâmetros climatológicos.

Watanabe, Fioretto e Hermann (2004), em condição de campo, avaliaram o efeito da palhada ( $8,8 \text{ t ha}^{-1}$ ) na variedade RB 855536. Observaram que, apesar de não ter havido diferença significativa para o rendimento agrícola, apenas a manutenção da palhada sobre solo propiciou ganhos de  $10 \text{ t ha}^{-1}$ , em relação à área sem palhada. Por outro lado, Basanta et al. (2002) observaram que o rendimento de colmos no tratamento colheita sem queima foi inferior em 8% e 13% em relação ao tratamento com queima, para os segundo e terceiro cortes, respectivamente.

Campos et al. (2008) avaliaram a influência de três manejos da palha no perfilhamento, no acúmulo de biomassa fresca e na produtividade da cana-de-açúcar, variedade SP 832847. Observaram efeitos negativos da palhada em área total ( $10 \text{ t ha}^{-1}$ ) sobre as três variáveis, com redução de cerca de 10% na produtividade. Resultados semelhantes foram encontrados por Campos (2010), que avaliaram o perfilhamento, o acúmulo de biomassa fresca e a produtividade da soqueira de cana-de-açúcar (var. RB 855453) em três sistemas de manejo da palhada: em área total; 33% do solo descoberto; e 66% do solo descoberto. Observaram que a adoção de sistemas de manejo da palhada após colheita de cana-de-açúcar sem queima, influenciou o acúmulo de biomassa fresca e a produtividade da cultura. Concluíram, ainda, que a manutenção da palhada em área total, após colheita sem queima, prejudicou o desenvolvimento da soqueira, que apresentou menor biomassa de perfilhos e redução na produtividade (em torno de 16%), quando comparada com o tratamento com maior porcentagem de solo descoberto. O tratamento com 33% do solo descoberto não diferiu dos demais.

Costa et al. (2011) avaliaram o crescimento e a produtividade de quatro variedades de cana-de-açúcar no quarto ciclo de cultivo. Mensalmente, o número de plantas, a altura, o índice de área foliar e o diâmetro do colmo foram verificados, iniciando-se aos 30 dias após o corte (DAC). A qualidade da matéria prima, a matéria seca e a produtividade foram avaliadas aos 360 DAC, quando ocorreu a colheita. Esses autores concluíram que, sob as mesmas condições de solo e clima, há respostas diferentes, conforme a variedade. Apenas o máximo perfilhamento ocorreu aos 90 DAC para todas as variedades. Todas as demais variáveis analisadas diferiram entre si nos componentes avaliados, confirmando, assim, a necessidade de estudos de comportamento das variedades nos diversos ambientes de produção.

### 3.5 PRODUÇÃO E DECOMPOSIÇÃO DE BIOMASSA E SEUS EFEITOS NA QUÍMICA DO SOLO

Buzolin (1997) concluiu que a presença da palhada proporcionou aumento da disponibilidade do  $P_2O_5$  no solo e, conseqüentemente, maiores teores de  $P_2O_5$  no caldo. Com relação à decomposição da palhada, observou que a matéria seca passou de 11 a 13 t  $ha^{-1}$  no início para 4,0 a 4,4 t  $ha^{-1}$  no final do ciclo. A relação C/N foi alta do início ao final do ciclo, embora tenha ocorrido decréscimo ao longo do tempo e acréscimo dos valores dos elementos minerais, devido ao processo de decomposição. De acordo com Orlando Filho et al. (1998), após um ano de decomposição, são liberados para o solo 85% do K, 44% do Ca e 39% do Mg presentes na palhada de cana após a colheita mecanizada.

Abramo Filho et al. (1993) observaram que a variedade SP71-6163 apresentou produção de palhada de 15 t  $ha^{-1}$ ; desse valor, obtiveram as porcentagens de nutrientes presentes, sendo: N = 0,48%, P = 0,04%, K = 0,37%, Ca = 0,24%, Mg = 0,11%, S = 0,08% e C = 37,55%. Manechini (1997) também quantificou os nutrientes presentes na palhada de três variedades deixada sobre o solo e encontrou, em kg  $ha^{-1}$ : N (54,7), P (4,4), K (76,1), Ca (54,9), Mg (25,5) e S (15,1). Oliveira et al. (2003), estudando a contribuição da palhada da cana-de-açúcar no incremento de nutrientes no solo, verificaram que a matéria seca (15,6 e 18,5 t) acumulou, em média, de N, K, Ca e Mg de 55; 130; 60 e 20 kg  $ha^{-1}$ ,

respectivamente. Resende et al. (2006) apontam que 10 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de palhada contém diversos nutrientes, dentre os quais se destacam N (40–60 kg ha<sup>-1</sup>), S (15–30 kg ha<sup>-1</sup>) e C (4.500 kg ha<sup>-1</sup>), que entram no sistema e contribuem para a diminuição da adubação química.

Quanto ao pH do solo, foram observadas elevações com a adição de resíduos vegetais (FRANCHINI et al., 2001), decorrentes da complexação dos H<sup>+</sup> e Al<sup>3+</sup> livres com compostos orgânicos aniônicos dos resíduos e do aumento da saturação da CTC do solo pelos Ca, Mg e K adicionados via resíduo vegetal, o que reduziria a acidez potencial e aumentaria a absorção de nutrientes.

As concentrações dos macronutrientes na parte aérea da cana-de-açúcar seguem a seguinte ordem decrescente: K > N > Ca > Mg ≈ S > P; e os micronutrientes, a seguinte ordem: Fe > Mn > Zn > B ≈ Cu (MALAVOLTA, 1982).

Um dos efeitos mais significativos do aumento dos teores de matéria orgânica no solo, proporcionado pela palhada, é o aumento da capacidade de troca catiônica (CTC). Em linhas gerais, CTC é a capacidade que o solo possui de armazenar nutrientes para que esses sejam posteriormente utilizados pelas plantas. A maior parte dos solos brasileiros é pouco fértil e pobre em matéria orgânica. Assim, nesses solos, a principal forma de aumentar a capacidade de armazenamento de nutrientes é a partir do aumento da matéria orgânica.

Canellas et al. (2003) verificaram, na camada superficial do solo (0-0,20 m), que o teor de carbono variou de 13,13 g kg<sup>-1</sup> na cana queimada a 22,34 g kg<sup>-1</sup>, durante um ciclo da cana crua, indicando a melhoria nos atributos químicos do solo com a colheita da cana crua, o que foi observado também por Mendoza et al. (2000).

Orlando Filho et al. (1998), trabalhando com cana-de-açúcar colhida mecanicamente, com e sem prévia despalha pelo fogo, durante o ciclo da terceira soca, encontraram diferenças nas características de um Latossolo Vermelho escuro, em função da manutenção da palhada residual da colheita, 11 meses após a instalação dos tratamentos. Na presença da palhada, observaram maior umidade e maiores teores de matéria orgânica (MO), fósforo, cálcio, magnésio e enxofre. Por outro lado, o teor de potássio foi maior no solo sob cana queimada, fato que os autores atribuíram à adição de cinzas provenientes da queima.

As modificações do ambiente edáfico devido à presença da palhada sobre o solo, podem alterar a dinâmica de cálcio e alumínio, dois elementos que exercem grande efeito no desenvolvimento do sistema radicular. A aquisição de nutrientes é alterada sempre que a cinética de absorção ou o crescimento das raízes forem afetados. O cálcio é essencial à divisão celular e à funcionalidade da membrana celular; portanto, as raízes não crescem na ausência desse elemento. A toxicidade de alumínio pode provocar a fixação do fósforo para formas menos disponíveis, diminuir a taxa de respiração, interferir em reações enzimáticas e modificar a dinâmica de absorção e transporte de vários nutrientes, principalmente, cálcio, magnésio e potássio (VASCONCELOS, 2002).

Vasconcelos (2002) constatou algumas dessas modificações ao trabalhar com cana-de-açúcar submetida a dois sistemas de colheita - crua mecanizada e queima manual - durante os ciclos da segunda e terceira soqueiras. Observou que, após a adubação da terceira soqueira, a redução do pH foi mais acentuada nas áreas de colheita manual de cana queimada. A matéria orgânica teve seu teor reduzido na camada de 0 a 0,20 m, onde é maior a influência da palhada, durante todo o ciclo da terceira soca, na área de cana queimada; enquanto na área de cana crua esse teor manteve-se estável nos primeiros 8 meses após o terceiro corte, encontrando-se, após esse período, teor de MO maior na área de cana crua do que na de cana queimada. Abaixo de 0,20 m de profundidade, onde a influência da palhada é menor, a redução do teor de MO ao longo do tempo deu-se igualmente em ambos os sistemas de colheita. No geral, os teores de cálcio foram superiores nas áreas de colheita sem queima, indicando que a decomposição do palhço forneceu esse nutriente. Para os teores dos demais macronutrientes, exceto nitrogênio, o autor não encontrou diferença significativa entre os sistemas de colheita.

#### 4 ARTIGO A: CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE SOQUEIRAS DE CANA-DE-AÇÚCAR SOB DIFERENTES QUANTIDADES DE PALHADA

##### RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes quantidades de palhada sobre o crescimento e a produtividade de cana-de-açúcar variedade SP 801816, nas primeira e segunda soqueiras em Latossolo Vermelho eutrófico. Foram testados os efeitos de seis tratamentos: cana-queimada, 0%, 25% (5 t ha<sup>-1</sup>), 50% (10 t ha<sup>-1</sup>), 75% (15 t ha<sup>-1</sup>), 100% (20 t ha<sup>-1</sup>) de palhada sobre o crescimento: índice de área foliar (IAF), número, diâmetro e comprimento de colmos; e produtividade. As avaliações foram realizadas em cinco períodos: 60, 120, 180, 240 dias após o corte (DAC) e na pré colheita (370 e 270 DAC, respectivamente, para primeira e segunda soqueiras). Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey. A manutenção de palhada em superfície não foi prejudicial ao desenvolvimento da cultura. A queima da palhada, a retirada total ou a manutenção de 25% da palhada resultam em menor produtividade. Em condições de deficiência hídrica, a manutenção de 50% da palhada em superfície é suficiente para melhoria da produtividade, sendo possível remover o excedente do campo para os processos industriais de obtenção de energia.

**Palavras-chave:** Resíduo agrícola. Cana crua. Palhiço. Biomassa. Biometria. Produção.

## ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the effect of different amounts of straw on growth and productivity of sugarcane, the first and second ratoon of the variety SP 801816. Were tested in eutroferric Red Latosol, the effects of six treatments 0%, 25% (5 t ha<sup>-1</sup>), 50% (10 t ha<sup>-1</sup>), 75% (15 t ha<sup>-1</sup>), 100% (20 t ha<sup>-1</sup>) of sugarcane straw and cane burned on IAF, the number, diameter, length and yield (fresh stalk weight in tons of sugarcane per hectare). Growth evaluations were performed in five periods: 60, 120, 180, 240 days after cutting (DAC) and pre harvest (370 and 270 CAD, respectively for the first and second ratoon). The results were submitted to analysis of variance and means compared by Tukey test. Maintaining straw surface was not detrimental to the development of culture. The straw burning, the total withdrawal or maintaining 25% of the straw result in lower productivity. In water stress conditions, maintaining 50% of straw surface is sufficient to improve productivity, it is possible to remove the excess from the countryside to industrial processes for the production of energy.

**Key-words:** agricultural residue. Green cane. Straw mulch. Biomass. Biometrics. Productivity.

#### 4.1 INTRODUÇÃO

As principais áreas produtoras de cana-de-açúcar no Brasil já adotaram o sistema de colheita mecanizada. No Estado de São Paulo, que responde por mais de 50% da produção nacional, 83% da colheita foi realizada de forma mecanizada, sendo que o início da safra 2014/15 é o prazo final para a eliminação do uso do fogo nas áreas planas (UNICA, 2014).

Nesse sistema de colheita de cana-de-açúcar, as folhas secas, os ponteiros e as folhas verdes são cortados e lançados sobre a superfície do solo, formando uma cobertura morta denominada palhada. Valores entre 10 e 30 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca de palhada têm sido encontrados nas regiões de produção da cana-de-açúcar, tanto em cana planta, quanto em soqueira (GAVA et al., 2003; OLIVEIRA et al., 2003, MELLO-IVO et al., 2006). As oscilações são em função da variedade, da idade do canavial e do ambiente de cultivo. A cada ano, mais de 100 milhões de toneladas de palhada estão disponíveis nesse novo sistema, com tendência de elevação desta quantidade conforme se aumenta a colheita mecanizada no país (UNICA, 2013a).

Essa camada de material vegetal sobre o solo gera alterações no ambiente de produção, podendo interferir na dinâmica de enraizamento, na absorção de nutrientes e, conseqüentemente, na produtividade final. Dentre essas alterações, destacam-se: aumento da infiltração de água no solo; diminuição da amplitude térmica e da evaporação, principalmente nas camadas superficiais; alteração na incidência de luz na superfície do solo; irregularidade de brotação sob palhada, com possível queda da produtividade, dependendo da variedade; maior eficiência no controle da erosão; e aumento do teor de matéria orgânica, melhorando a estrutura do solo. (SILVA; COSTA; MARTINS, 2003; CHRISTOFFOLETI et al., 2007; CAVENAGHI et al., 2007; GUIMARÃES et al., 2008). É, também, fonte de nutrientes para a macro e a microfauna do solo e para a própria cultura da cana-de-açúcar (OLIVEIRA et al., 2003).

A brotação, a emergência e o crescimento das plantas também são influenciados pelas mudanças no ambiente de produção. Este fato ganha importância ainda maior, quando se considera que as variedades de cana-de-açúcar

disponíveis foram desenvolvidas em sistema de cana queimada, podendo apresentar respostas diferentes quanto à adaptabilidade às mudanças (Souza et al., 2005a).

Campos et al. (2008) avaliaram a influência da palhada no perfilhamento, no acúmulo de biomassa fresca e na produtividade de soqueiras de cana-de-açúcar variedade SP 832847 e observaram efeitos negativos da palhada em área total sobre as três variáveis, com redução de cerca de 10% na produtividade. Resultados semelhantes foram encontrados por Campos et al. (2010), que avaliaram os efeitos de 10 t ha<sup>-1</sup> de palhada, na segunda soqueira variedade RB 855453 em Latossolo Vermelho eutrófico argiloso. Entretanto, Ball Coelho et al. (1993) observaram que a manutenção da palhada sobre o solo (Argissolo óxico) causou aumentos de 43% na produção de matéria seca da primeira soqueira de cana-de-açúcar.

Outros autores (OLIVEIRA et al., 1995; RESENDE et al., 2006) também relataram os benefícios obtidos com a manutenção da palhada sobre a superfície do solo e, alguns constataram que o volume de palhada sobre a soqueira dificultou a emergência das plantas, causando falha na rebrota e diminuição da produtividade final. Entretanto, esses trabalhos não abordam a quantidade de palhada que seria suficiente para obtenção de tais benefícios ou se os efeitos negativos sobre a soqueira seriam os mesmos se menores quantidades fossem deixadas sobre o solo.

A quantificação da palhada necessária para o desenvolvimento de uma produção sustentável e otimizada da cana-de-açúcar também possibilitará que o seu excedente possa ser utilizado para a produção de bioeletricidade ou bioetanol, setores que necessitam de grande quantidade desse material. Segundo Lima e Natalense (2010), estima-se que a utilização da palhada juntamente com o bagaço, triplicaria a produção de etanol, sem a necessidade de aumentar a área de plantio, produzindo o equivalente a 15% do total de energia consumida no Brasil até 2020, além de servir como energia complementar à hidroeletricidade.

Compreende-se, portanto, que são primordiais trabalhos que identifiquem a quantidade de palhada necessária a permanecer no campo para maior benefício da cultura e sustentabilidade do sistema solo-planta.

Este trabalho trata-se de uma continuação de pesquisa cujos

resultados iniciais foram apresentados por Aquino e Medina (2013).

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes quantidades de palhada sobre o crescimento e a produtividade de cana-de-açúcar, nas primeira e segunda soqueiras da variedade SP 801816, em Latossolo Vermelho eutroférico.

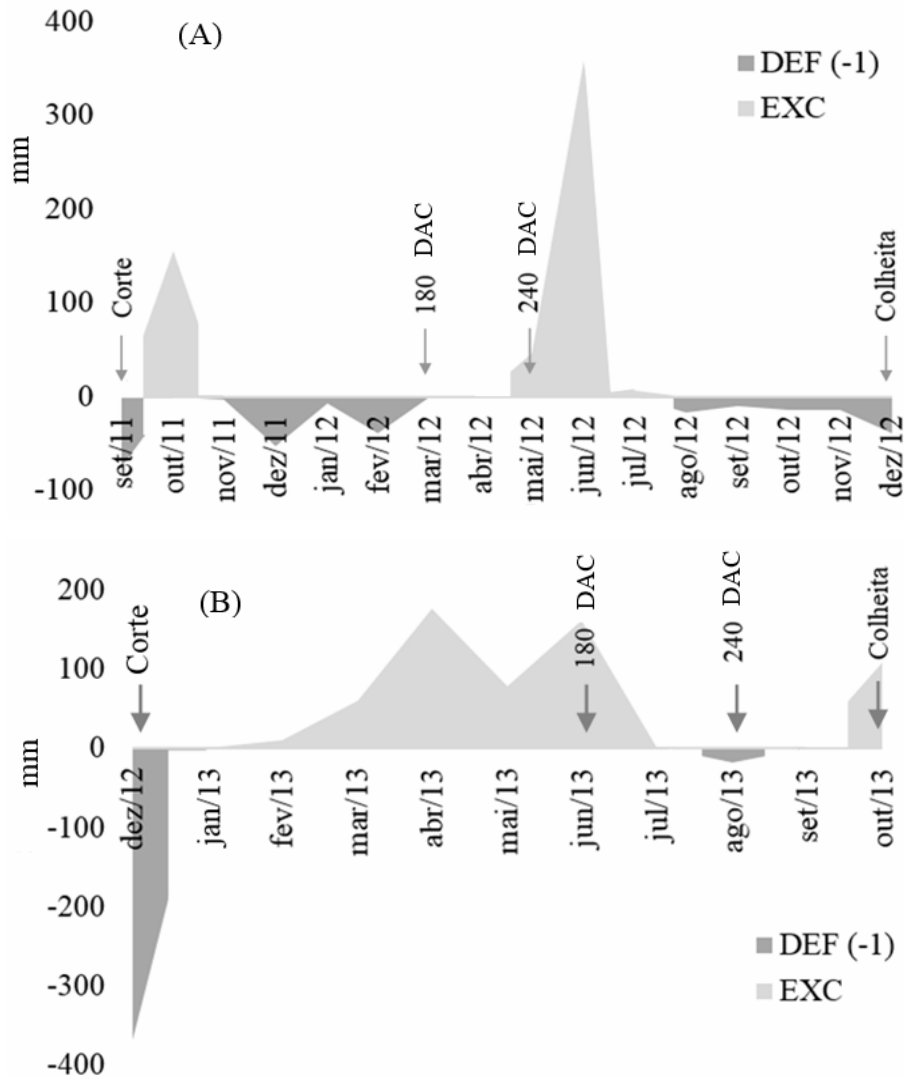
## **4.2 MATERIAL E MÉTODOS**

O ensaio foi instalado na Usina de Açúcar e Álcool Bandeirantes, localizada no município de Bandeirantes, à latitude de 23° 06' S, longitude 50° 21' W, e altitude de 440 m. O clima predominante na região, baseado na classificação climática de Koeppen, é do tipo Cfa, com precipitação média anual de 1.300 mm. A insolação média é de 7,14 h dia<sup>-1</sup>.

A área onde se instalou o experimento é cultivada com cana-de-açúcar há 65 anos. Nesse período, foi empregado o método de colheita manual com despalha a fogo até 2009, quando se empregou a colheita da cana-de-açúcar sem queima, de forma mecanizada em algumas áreas, sendo utilizada essa técnica também no local de pesquisa.

O balanço hídrico climatológico (Figura 4.1) foi calculado de acordo com Thornthwaite e Mather (1955). Foram utilizados dados de temperatura média mensal e de chuva total mensal, fornecidos pela estação meteorológica do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), localizada em Bandeirantes-PR, a dois quilômetros do local do experimento. Como capacidade de água disponível (CAD) utilizou-se o valor de 100 mm.

Figura 4.1. Extrato do balanço hídrico mensal ocorrido durante o ciclo de primeira (A) e segunda soqueiras (B), Bandeirantes, PR. Safras 2011/12 e 2012/13.



Fonte: Iapar, Bandeirantes – PR

O solo está classificado como Latossolo Vermelho eutrófico (EMBRAPA, 2013b), de textura argilosa, conforme resultado da análise granulométrica, que apresentou: 61% de argila; 2% de silte e 37% de areia.

Os resultados das análises químicas e de densidade do solo, realizadas na implantação do experimento em agosto de 2010, estão descritos, respectivamente, nas Tabelas 4.1 e 4.2. Não houve necessidade de adubação química. Antes do plantio, como prática da usina, foram aplicadas 70 t ha<sup>-1</sup> de torta de filtro em área total. Nos anos anteriores, foram aplicados 150 m<sup>3</sup> de vinhaça, para

suprir a quantidade de potássio extraída pela cultura, após a colheita. O solo foi preparado realizando-se uma gradagem pesada e uma gradagem leve com discos de 36”.

Tabela 4.1 Densidade do solo Latossolo Vermelho eutroférico ( $\text{g cm}^{-3}$ ). Bandeirantes – PR, 2010.

Profundidade (m)	Densidade ( $\text{g cm}^{-3}$ )
0 – 0,10	1,33
0,10 – 0,20	1,30
0,20 – 0,40	1,30
0,40 – 0,60	1,30

Tabela 4.2 Análises químicas de Latossolo Vermelho eutroférico, nas camadas de 0 a 0,60 m, Bandeirantes – PR, 2010.

Prof. (m)	M.O $\text{g kg}^{-1}$	pH $\text{CaCl}_2$	P* $\text{mg dm}^{-3}$	K	Ca	Mg	H+Al	CTC	K	Ca	Mg
				Cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				% Saturação			
<b>0–0,10</b>	26,8	5,4	8,6	2,50	7,8	1,7	3,1	15,1	16	52	11
<b>0,10–0,20</b>	41,6	5,9	71,3	3,60	7,9	1,9	2,9	16,3	22	49	12
<b>0,20–0,30</b>	34,9	6,1	31,0	3,70	8,0	2,1	3,0	16,8	22	48	12
<b>0,30–0,40</b>	30,9	6,2	5,1	4,60	8,1	2,1	2,2	17,0	27	48	12
<b>0,40–0,50</b>	37,6	6,3	9,0	4,20	7,3	2,0	2,4	15,9	26	46	13
<b>0,50–0,60</b>	28,2	6,3	5,3	3,20	6,1	2,1	2,4	13,8	23	44	15

\*Utilizado extrator Melich.

O experimento foi instalado em agosto de 2010, em blocos casualizados com quatro repetições. O estudo foi conduzido durante os segundo e terceiro ciclos da cana-de-açúcar (primeira e segunda soqueiras, respectivamente), variedade SP 801816. A implantação do experimento foi realizada em agosto de 2010, sendo que, logo após o plantio, foram adicionadas no solo as quantidades de palhada correspondentes a cada tratamento. Desta maneira, os dados obtidos nas primeira e segunda soqueiras de cana-de-açúcar resultam, respectivamente, de dois e três anos de cultivo sob palhada.

O cultivo da primeira soqueira ocorreu de setembro de 2011 a dezembro de 2012. A segunda soqueira foi colhida em outubro de 2013.

Foram avaliados seis tratamentos: 0, 25% (5 t ha<sup>-1</sup>), 50% (10 t ha<sup>-1</sup>), 75% (15 t ha<sup>-1</sup>), 100% (20 t ha<sup>-1</sup>) de palhada, e cana queimada (onde 100% da palhada foi queimada).

Cada parcela foi constituída de 10 linhas de cana-de-açúcar, com 10 metros de comprimento (10 linhas x 10 m), totalizando 100 metros lineares, com espaçamento de 1,50 metros nas entrelinhas. A parcela útil considerada para a coleta dos dados foi composta de seis fileiras centrais de nove metros lineares, totalizando 54 metros lineares, deixando-se 0,50 metro de cada extremidade e duas linhas laterais como bordadura.

Para as análises de crescimento, foram colhidos todos os colmos contidos em dois metros lineares, aos 60, 120, 180, 240 dias após o corte (DAC) e na pré colheita (370 e 270 DAC, respectivamente para primeira e segunda soqueiras). Nestas coletas, foram avaliadas as seguintes características: número de folhas verdes, índice de área foliar, massa fresca dos colmos, número, comprimento e diâmetro médio dos colmos.

O número médio de folhas verdes por perfilho, foi determinado por meio da contagem das folhas totalmente expandidas, com o mínimo de 20% de área verde, a partir da folha +1 (HERMANN; CÂMARA, 1999)

A área foliar (AF) foi obtida por meio da coleta da folha TVD ("top visible dewlap") (Rossetto, 2010) de cada perfilho existente nos dois metros lineares e, posteriormente, foi medida, conforme Nassif et al. (2013), com medidor de área foliar de bancada, da marca Li-Cor modelo LI 3100. A área foliar por perfilho foi obtida pela equação  $AFP = AF \times (N + 2)$ , em que: AF é a área foliar; N é o número de folhas verdes abertas; e 2 é o fator de ponderação para as folhas ainda não totalmente expandidas.

O índice de área foliar (IAF), avaliado apenas na primeira soqueira, foi determinado pela equação  $IAF = NPI \times AF/S$ , em que: NPI corresponde ao número de perfilhos (m<sup>2</sup>); AF é a área foliar por perfilho (m<sup>2</sup>); e S é a área do terreno, em m<sup>2</sup>, utilizada para a avaliação.

Para a determinação do número de colmos por hectare, foram contados os colmos contidos em dois metros lineares de cada parcela.

O comprimento (m) médios dos colmos foi obtido a partir da medição de cada colmo existente nos dois metros lineares, do nível do solo até a primeira

aurícula visível, classificada como folha +1; com auxílio de fita métrica e paquímetro, respectivamente.

O diâmetro médio dos colmos foi obtido com o auxílio de um paquímetro medindo o terço médio dos colmos.

A massa fresca foi obtida através da pesagem dos colmos dos dois metros lineares por parcela, em cada período de avaliação. Foram retiradas as folhas e os ponteiros de todos os colmos antes da pesagem.

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo Tomé Júnior (1997), o solo fértil, com boas condições nutricionais, apresenta as seguintes saturações: de 3 a 5% de K; de 10 a 15% de Mg e de 50 a 70% de Ca. Observa-se que, até a profundidade de 0,60 m, os teores de Ca e Mg estão próximos da faixa considerada adequada para esses nutrientes (Tabela 4.2).

O potássio apresentou saturação elevada (acima de 20%). Pode-se considerar que, pelo fato desse nutriente não se ligar a nenhum constituinte orgânico, é facilmente lixiviado, e, em ocasiões de chuva, sua concentração tenderá a baixar, alcançando a faixa adequada, uma vez que não foram feitas novas aplicações de vinhaça ou mesmo adubação mineral.

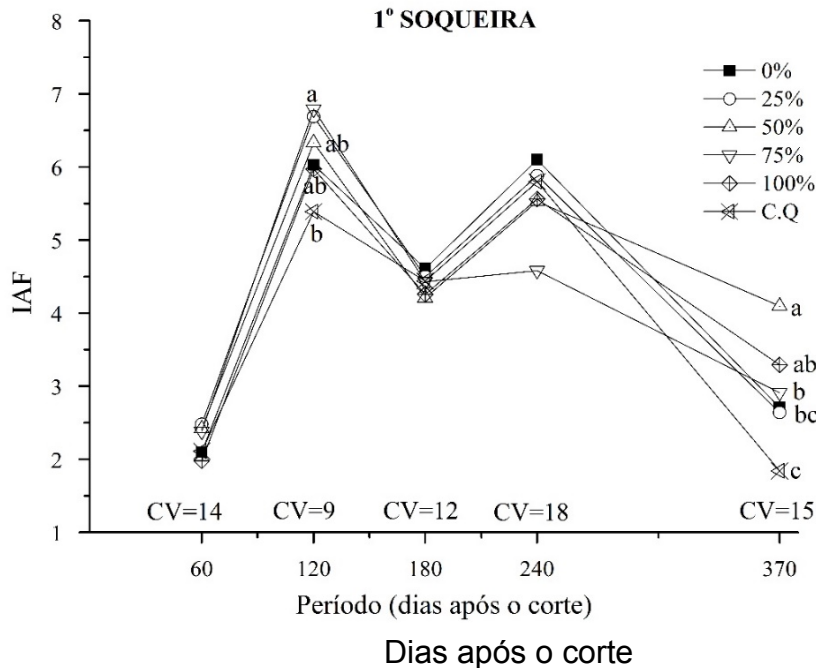
O fósforo (Tabela 4.2) apresentou teores adequados ( $4,1$  a  $6,0$   $\text{mg dm}^{-3}$ ) nas camadas  $0,30 - 0,40$  e  $0,50 - 0,60$  m, e alto (acima de  $6,0$   $\text{mg dm}^{-3}$ ) nas demais camadas (Sousa; Lobato, 2004).

Pode-se observar que o solo não apresentou nenhum impedimento, tanto físico (Tabela 4.1), quanto químico (Tabela 4.2) para o crescimento das raízes.

Com relação ao IAF, na primeira soqueira, houve efeito significativo da palhada sobre este parâmetro aos 120 e 370 DAC (Figura 4.2). Aos 120 DAC, os tratamentos 25% ( $5 \text{ t ha}^{-1}$ ) e 75% ( $10 \text{ t ha}^{-1}$ ) de palhada apresentaram os maiores valores de IAF (6,7 e 6,8, respectivamente), diferentes estatisticamente da cana

queimada, com 5,3. A partir dos 240 DAC houve acentuada queda e, no final do ciclo, aos 370 DAC, o tratamento 50% de palhada manteve a maior média (4,1) sendo significativamente superior aos demais, com exceção de 100% de palhada. Cana queimada apresentou o menor valor, com 1,9. Machado et al. (1982) relatam que o IAF ideal estaria em torno de 4,0, o que seria suficiente para interceptar, aproximadamente, 95% da radiação solar incidente e que, acima desse valor, não repercutiria em maior produtividade. Nota-se que o tratamento 50% de palhada foi o único tratamento que manteve IAF dentro da faixa considerada ideal, e que, cana queimada apresentou média bem abaixo do necessário, podendo refletir em severa queda de produtividade, uma vez que há significativa associação entre a produtividade da cultura e o IAF, conforme verificado por Oliveira et al. (2007) e confirmado por Tavares, Lima e Zonta (2010). Silva e Pincelli (2010) ressaltam que, após o déficit hídrico, quando há reidratação da cultura, os estômatos conseguem melhorar o potencial hídrico da folha, mas não conseguem se recuperar totalmente, pois a complexidade de resposta do estômato irá depender do genótipo e da intensidade da seca, influenciando na severidade da queda de produção.

Figura 4.2 - Índice de Área Foliar (IAF) de cana-de-açúcar (variedade SP 801816) em relação à quantidade de palhada em superfície (0, 25, 50, 75, 100% ( $20 \text{ t ha}^{-1}$ )) e cana queimada (C.Q), na primeira soqueira de cana-de-açúcar, em dias após o corte (DAC). Safra 2011/12. Bandeirantes – PR



As maiores médias de IAF ocorreram aos 120 DAC (6,80), com posterior declínio. Este comportamento também foi observado por Oliveira et al. (2007), que avaliaram o desenvolvimento da área foliar de três variedades de cana-planta, em Latossolo Vermelho distrófico, correlacionando com a produtividade, e por Farias et al. (2008), que avaliaram em Latossolo Vermelho Amarelo de textura média, os índices de crescimento da cana-de-açúcar (variedade SP 791011) alcançando IAF máximo de 6,82 em cana irrigada e 6,80 para condições de sequeiro. Segundo Ramesh (2000), a cana-de-açúcar apresenta uma fase de maior crescimento, que se diferencia conforme a variedade; passada esta fase, a cultura diminui o gasto de energia na produção de folhas verdes. O IAF decresce com a redução do número de perfilhos por metro linear e da área foliar por perfilho. Esta, por sua vez, decresce com a diminuição da umidade do solo (FARIAS et al., 2008), o que pode justificar as maiores médias com os tratamentos acima de 50% de palhada. Inmam-Bamber (2004) ratifica essas informações e acrescenta que fatores como temperaturas elevadas em períodos de estresse hídrico causam a diminuição da área foliar, pois aceleram o processo de senescência das folhas verdes.

Aquino e Medina (2014) avaliaram no mesmo experimento, os índices biométricos e fisiológicos de cana-planta sob as diferentes quantidades de palhada. Em período de severa deficiência hídrica nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura, verificaram que o tratamento 50% de palhada proporcionou pouca variação de IAF durante o ciclo e manteve, a partir dos 240 dias após o plantio até o período de colheita a maior média, em torno de 7,0, refletindo em maior produtividade. Observaram, ainda, que os tratamentos de solo descoberto (0% de palhada) ou com pouca cobertura (25% de palhada) apresentaram os menores valores de IAF durante, praticamente, todo o ciclo da cultura, de modo mais expressivo no solo descoberto, corroborando o presente trabalho.

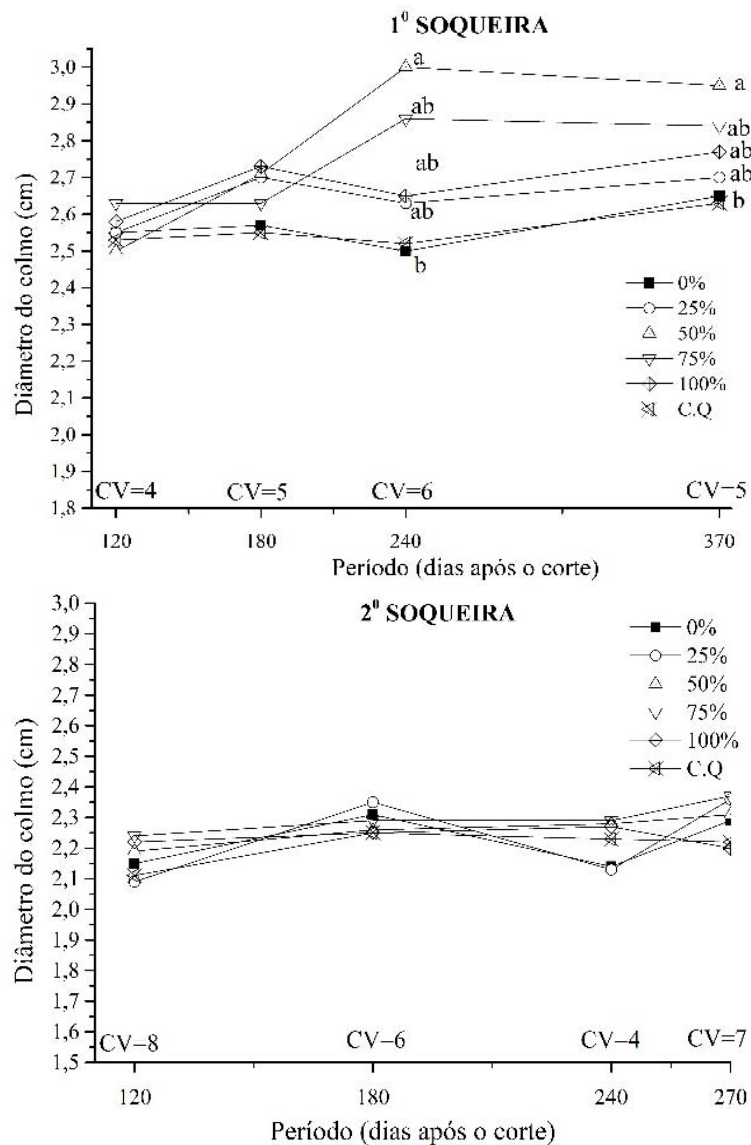
Houve efeito da palhada no diâmetro dos colmos, na primeira soqueira, aos 240 e 370 DAC (Figura 4.3), sendo que, aos 240 DAC, a quantidade 50% de palhada proporcionou a maior média, que perdurou até o final do ciclo (3,0 e 2,95 cm, respectivamente), sendo diferente estatisticamente dos tratamentos 0% de palhada e cana queimada, que apresentaram média 2,5 cm aos 240 DAC e 2,6 cm aos 370 DAC. Na segunda soqueira, não houve diferença entre os tratamentos.

Landell et al. (2005) avaliaram as características biométricas de 19 genótipos de cana-de-açúcar em regiões de déficits hídricos contrastantes e observaram que o diâmetro de colmo é o mais sensível dos indicadores biométricos, sendo um dos primeiros parâmetros a apresentar redução em período desfavorável. Rao et al. (2005), ao avaliarem o manejo de clones de cana em situações limitadas de umidade na fase de formação e Silva et al. (2008), ao avaliarem em Neossolo textura média os componentes de produção de 80 genótipos de cana-de-açúcar como indicadores de tolerância à seca, também verificaram esses efeitos e concluíram que o déficit hídrico na fase inicial afeta a divisão celular, reduzindo o diâmetro e o peso dos colmos, o que pode explicar o menor diâmetro observado na primeira soqueira, quando ocorreu deficiência hídrica nos tratamentos em que o solo permaneceu descoberto (cana queimada e 0% de palhada), fato não verificado na segunda soqueira, quando houve precipitação adequada.

Alvarez e Castro (1999) avaliando a primeira e segunda soqueira de cana-de-açúcar, observaram diferença de diâmetro entre cana crua e cana queimada, sendo maior em cana crua, na primeira soqueira. Tavares, Lima e Zonta (2010) não encontraram diferença no diâmetro de colmo, ao avaliarem em Argissolo

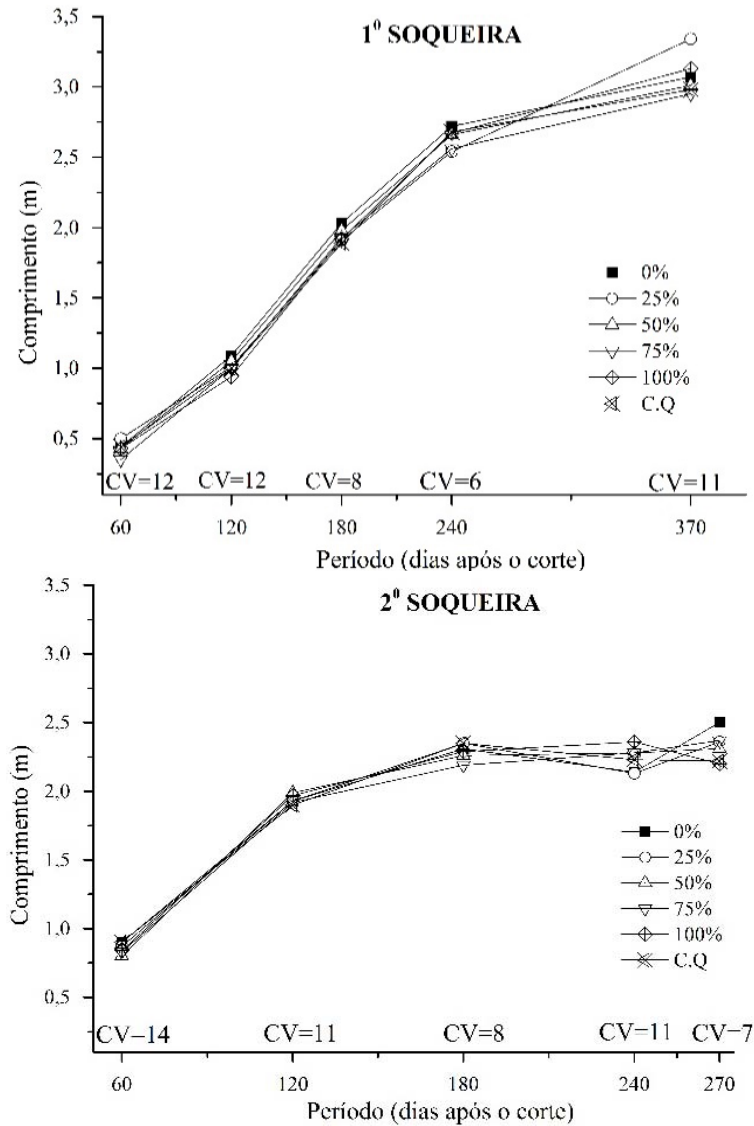
Amarelo textura média, os efeitos dos sistemas de cana crua e cana queimada, concordando com Costa et al. (2011), que apontam que a variação no diâmetro do colmo depende, principalmente, das condições climáticas e das características genéticas da planta.

Figura 4.3 - Diâmetro médio de colmos (cm) de cana-de-açúcar em relação à quantidade (0, 25, 50, 75, 100% (20 t ha<sup>-1</sup>)) de palhada em superfície (%), na primeira e segunda soqueira de cana-de-açúcar em dias após o corte (DAC). Safras 2011/12 e 2012/13. Bandeirantes-PR.



O comprimento médio dos colmos (Figura 4.4) apresentou curvas de crescimento com formato sigmoidal, conforme encontrado na literatura (Alvarez; Castro, 1999).

Figura 4.4 - Comprimento médio de colmos (m) de cana-de-açúcar em relação à quantidade (0, 25, 50, 75, 100% ( $20 \text{ t ha}^{-1}$ )) de palhada em superfície (%), nas primeiras soqueiras e segunda soqueiras de cana-de-açúcar, em dias após o corte (DAC). Safras 2011/12 e 2012/13, Bandeirantes – PR



Não houve efeito significativo dos tratamentos no comprimento médio dos colmos (Figura 4.4) em ambas as soqueiras e em nenhum período avaliado, indicando que não houve atraso na brotação e crescimento da cana-de-açúcar em relação às quantidades de palhada, como também foi verificado por alguns autores (CAMPOS; MARCONATO, 1994; SILVA, 1997).

Silva e Pincelli (2010) apontam que a diminuição do conteúdo de água no solo afeta acentuadamente alguns processos morfofisiológicos, enquanto

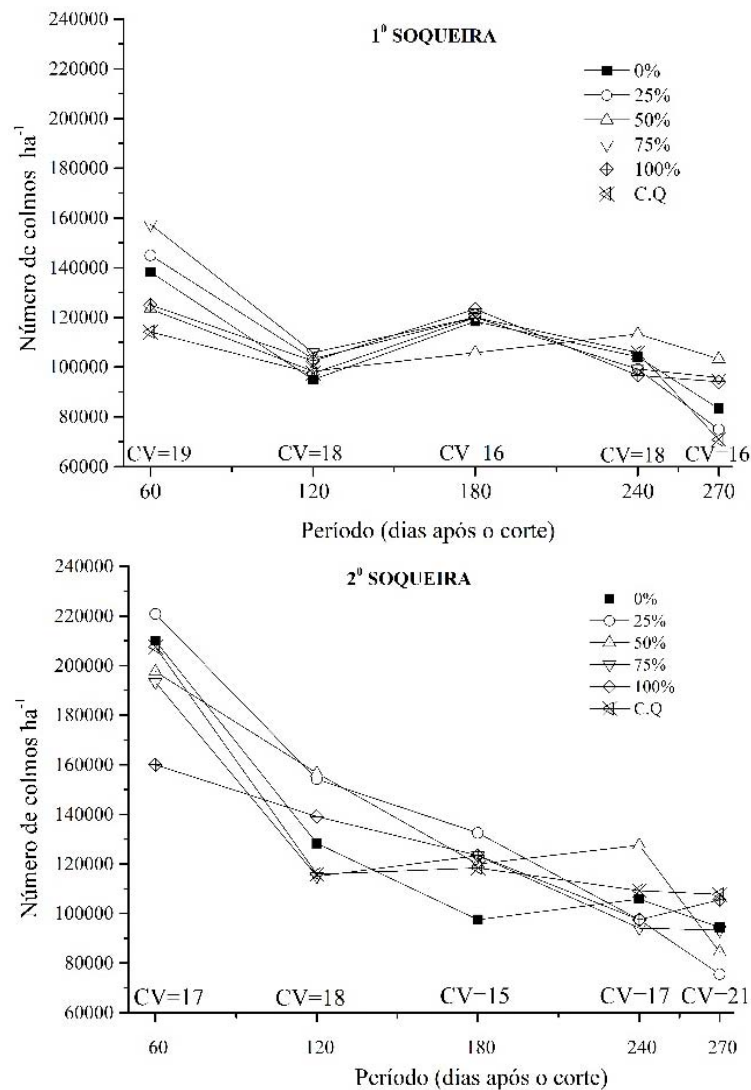
outros são relativamente insensíveis. A extensão dos efeitos do déficit hídrico nas espécies vegetais depende da sua intensidade e da capacidade genética das plantas em responder às mudanças do ambiente. Landell et al. (2005) em avaliação de 19 genótipos, verificaram que os parâmetros comprimento de colmos e perfilhamento denotaram comportamento similar independente da condição de seca. Pode-se verificar então, que, apesar da deficiência hídrica ocorrida, alterando o diâmetro dos colmos, esta não foi suficiente para alterar o comprimento.

Alvarez e Castro (1999) avaliaram o comprimento de colmos durante dois ciclos em cana crua e cana queimada e observaram efeito significativo no segundo ciclo, aos 37, 314 e 344 DAC, com maiores valores em cana queimada, fato atribuído ao ataque de cigarrinhas, observado em campo. Este fato, entretanto, não foi observado no presente trabalho, em nenhuma quantidade palhada. Tavares, Lima e Zonta (2010) investigaram os efeitos da cana crua e queimada após 16 anos de cultivo e também não encontraram diferenças significativas entre os tratamentos, até os 350 DAC.

Não houve influência significativa dos tratamentos no perfilhamento da cana-de-açúcar em nenhum estágio de desenvolvimento, tanto na primeira, quanto na segunda soqueira (Figura 4.5), apesar da deficiência hídrica ocorrida no início do ciclo, concordando com os resultados obtidos por Landell et al. (2005). Há, no entanto, alguns autores que indicam como desvantagem para a cana crua o fato de a palhada causar dificuldade de rebrota, diminuindo o número de perfilhos (SILVA, 1997). As variedades de cana-de-açúcar disponíveis foram desenvolvidas em um sistema de colheita com queima, que favoreceria a maior taxa de emergência da cana soca, assim, alguns genótipos apresentariam falhas na rebrota sob palhada. Segundo Campos e Marconato (1994), o sombreamento e a diminuição da temperatura promovida pela palhada seriam desfavoráveis ao brotamento da cana crua, uma vez que a luminosidade é um dos fatores mais importantes nesse processo. Pôde-se observar no presente trabalho, que esse efeito não foi observado.

Figura 4.5 - Número de colmos (NC ha<sup>-1</sup>) de cana-de-açúcar em relação à quantidade (0, 25, 50, 75, 100% (20 t ha<sup>-1</sup>)) de palhada em superfície, na

primeira e segunda soqueira de cana-de-açúcar em dias após o corte (DAC). Safras 2011/12 e 2012/13. Bandeirantes – PR.

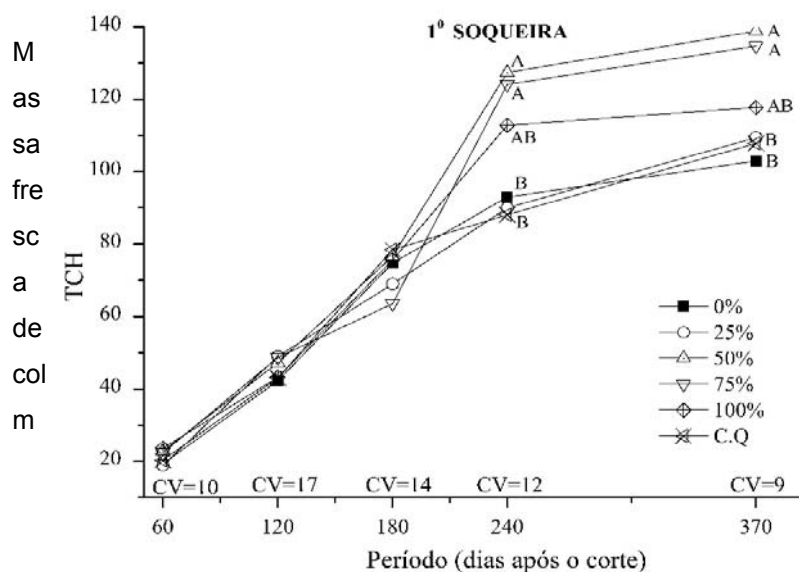


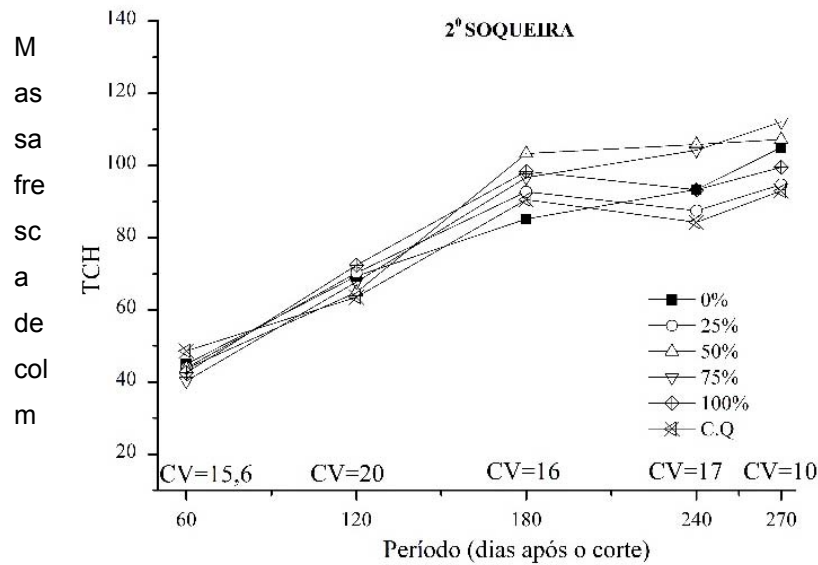
Alvarez e Castro (1999) também não encontraram diferenças no perfilamento ao avaliar as soqueiras de cana-de-açúcar submetidas ao sistema cana crua e queimada durante dois anos. Entretanto, Tavares, Lima e Zonta (2010) após 16 anos de cultivo de cana crua e queimada, verificaram diferenças significativas no perfilamento, sendo maior em cana crua. Fato que estes autores atribuíram ao maior teor de umidade do solo, ao aumento do teor de matéria orgânica, à redução da amplitude térmica e à redução da erosão, a partir da maior interação entre as frações orgânica e mineral do solo, bem como da proteção da superfície do terreno contra o impacto de gotas de chuva e da água de irrigação.

Houve efeito da palhada sobre a massa fresca de colmos, expressa em toneladas de cana por hectare ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ), na primeira soqueira, aos 240 e 370 DAC (Figura 4.6). Aos 240 DAC, os tratamentos 50 e 75% de palhada apresentaram as maiores médias (127 e 124  $\text{Mg ha}^{-1}$ , respectivamente) sendo significativamente superiores à cana queimada, 0 e 25% de palhada (88, 93 e 90  $\text{Mg ha}^{-1}$ , respectivamente). Esse comportamento se manteve até o final do ciclo (370 DAC), período em que houve incremento da massa fresca (Figura 4b). Os tratamentos 50 e 75% tiveram médias significativamente superiores, de 138 e 134  $\text{Mg ha}^{-1}$ , respectivamente, em relação à cana queimada, 0 e 25% de palhada (107, 102 e 109  $\text{Mg ha}^{-1}$ , respectivamente), o que representou incremento de 22% na produção. Observa-se que os menores valores de IAF obtidos para cana queimada aos 120 e 370 DAC refletiram em menores diâmetro e massa fresca de colmos.

Na segunda soqueira, em que houve condições melhores de precipitação, não houve efeito entre os tratamentos em nenhum período avaliado (Figura 4.6).

Figura 4.6 - Massa fresca de colmos ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ), em relação à quantidade (0, 25, 50, 75, 100% ( $20 \text{ t ha}^{-1}$ )) de palhada em superfície, em dias após o corte (DAC). Safras 2011/12 e 2012/13, Bandeirantes – PR.





O resultado significativo no ciclo da primeira soqueira, deve-se, provavelmente, à ocorrência de deficiência hídrica nos estádios iniciais de desenvolvimento da cana-de-açúcar, desde a colheita da cana-planta (setembro/11) até os 180 DAC (março/12), com exceção do mês de outubro/11. A maior disponibilidade hídrica ocorreu somente aos 240 DAC. Nos períodos iniciais de crescimento, é essencial que ocorra suprimento adequado de água para o bom desenvolvimento da cultura. Soares et al. (2004) ressaltam que os danos causados na planta e na produtividade de colmos devido aos períodos de estresse hídrico, são maiores quando ocorrem nas primeiras fases da cultura, pois podem prejudicar ou atrasar o desenvolvimento da parte aérea. Quando ocorrem nas demais fases, a produtividade de colmos é pouco afetada. Tavares, Lima e Zonta (2010) destacam que o déficit hídrico reduz as trocas gasosas e a absorção de  $\text{CO}_2$  pela folha, diminuindo a atividade fotossintética. Com a interrupção do déficit hídrico, as trocas gasosas tendem a voltar ao normal; porém, em velocidade lenta, o que pode comprometer a produção de material vegetal durante todo o ciclo.

Na segunda soqueira, com exceção do período inicial de brotação (dezembro/12), houve excesso hídrico até os 210 DAC, ocorrendo, deficiência apenas no mês agosto/13, aos 240 DAC. Assim, é possível que as condições climáticas ocorridas no ciclo de primeira soqueira tenham proporcionado condições para que a palhada expressasse o seu potencial, visto que um dos principais benefícios desta é proporcionar maior infiltração e retenção de água no solo, que

favorece todo o ciclo hidrológico e de nutrientes, refletindo na produtividade. Segundo Freitas et al. (2004) o plantio sob palhada proporcionou redução superior a 99% nas perdas de solo e 94% nas perdas de água, maior retenção e infiltração de água no solo, além de menor flutuação térmica nas camadas iniciais do solo. Rozeff (1995) confirma as vantagens da cana crua em relação à retenção de umidade, principalmente em locais com problemas de déficit hídrico e ao maior conteúdo de açúcar nos colmos após a colheita, uma vez que não ocorre perda por exsudação causada pela queimada, resultando em maior eficiência de cultivo.

Entretanto, Timm (2002), estudando o efeito do manejo da palhada da cana-de-açúcar, verificou que a cobertura vegetal afetou negativamente o desenvolvimento da cultura, reduzindo o número de colmos e sua massa fresca, em torno de 13%, fato não verificado nas avaliações do presente trabalho, tanto ao longo dos ciclos (Figura 4.5 e Figura 4.6).

Aquino e Medina (2014) corroboram os resultados deste trabalho, ao avaliarem a produtividade de cana-planta (variedade SP80 1816) sob diferentes quantidades de palhada. Com severa deficiência hídrica nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura, verificaram que os tratamentos 50 e 75% de palhada proporcionaram aumento de 25% na produtividade média, em relação aos tratamentos com menores quantidades de palhada. As autoras concluíram que a manutenção de 50% da quantidade de palhada produzida pela cultura foi suficiente para aumentar a produtividade. Esses dados mostram que a presença da palhada tem influência significativa no sistema de cultivo, podendo refletir já em curto prazo na produtividade final, principalmente em períodos de deficiência hídrica, como no caso do presente trabalho.

Os efeitos da palhada a longo prazo foram verificados por Oliveira, Urquiaga e Boddey (1995), que avaliaram a produção de um canavial da segunda até a sétima soqueira, encontrando diferença de 24% a mais na produção da cana crua em relação à cana queimada. Costa et al. (2014), em simulação do efeito do manejo da palha na produtividade da cana-de-açúcar, em quatro regiões de São Paulo, concluíram que a remoção total da palhada reduziria significativamente a produtividade de colmos, na comparação com a palhada mantida no campo, tanto a curto, quanto a longo prazo.

As variações encontradas na produtividade da cana-de-açúcar, em função da presença de cobertura do solo por palhada, possivelmente estão relacionadas ao tempo de implantação do sistema sem queima, às condições termohídricas de cada região, à compactação do solo e à variedade da cana-de-açúcar.

Ball-Coelho et al. (1993) ressaltam que, de um modo geral, em regiões canavieiras do Brasil e do mundo, onde a precipitação pluvial é pequena ou irregular, a presença da palhada sobre o solo tem contribuído para elevar a produtividade da cana-de-açúcar, embora, segundo os autores, não se tenha avaliações sobre a quantidade de palhada que seria suficiente para promover tal benefício. Entretanto, pode-se observar no presente trabalho que em condições de déficit hídrico, a quantidade 50% ( $10 \text{ t ha}^{-1}$ ) de palhada foi suficiente para promover melhorias na produtividade da cultura, e que, acima desse valor, não houve respostas estatisticamente significativas, podendo ser empregado o restante dessa palhada nos setores de produção de bioenergia, maximizando o aproveitamento energético advindo da cultura, sem prejuízos à sustentabilidade do sistema de cultivo.

Considerando-se que a palhada exerce papel fundamental na proteção do solo contra a erosão, que reduz de forma irreversível a capacidade produtiva dos solos, a manutenção da palhada em superfície constitui-se em prática essencial, quando se busca a sustentabilidade do sistema de produção de cana-de-açúcar.

#### **4.5 CONCLUSÕES**

1. O crescimento e a produtividade não são afetados pela mudança no sistema de colheita de cana queimada para cana sob palhada.

2. A queima da palhada, a retirada total ou a manutenção de 25% da palhada resultam em menor produtividade da cana-de-açúcar, em condições adversas de chuva.

3. Em condições de deficiência hídrica, a manutenção de 50% ( $10 \text{ t ha}^{-1}$ ) da palhada em superfície é suficiente para melhoria da produtividade, sendo

possível remover o excedente do campo para os processos industriais de obtenção de energia.

5. Em condições de precipitação adequada, a palhada não interfere na produtividade a curto prazo.

#### **4.6 Agradecimentos**

À PETROBRÁS, pelo financiamento do trabalho. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudo. À Usina de Bandeirantes, pela cessão da área experimental e apoio técnico nas avaliações.

## 5 ARTIGO B: SISTEMA RADICULAR E PRODUTIVIDADE DE SOQUEIRAS DE CANA-DE-AÇÚCAR SOB DIFERENTES QUANTIDADES DE PALHADA

### RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de diferentes quantidades de palhada no sistema radicular e na produtividade da cana-de-açúcar (variedade SP 801816), primeira e segunda soqueiras em Latossolo Vermelho eutroférico. Foram avaliados os efeitos de seis tratamentos: 0, 25% (5 t ha<sup>-1</sup>), 50% (10 t ha<sup>-1</sup>), 75% (15 t ha<sup>-1</sup>), 100% (20 t ha<sup>-1</sup>) de palhada e cana-queimada, sobre o sistema radicular e a produtividade da cana-de-açúcar, aos 450 e 300 dias após o corte (DAC), respectivamente, para primeira e segunda soqueiras. Para avaliação de raízes foram retiradas amostras a 0,45 (D1) e 0,75 m (D2) de distância da linha de plantio, até 0,60 m de profundidade. A produtividade foi obtida através da pesagem dos colmos. Os resultados foram submetidos à análise de variância e teste Tukey. Em períodos de deficiência hídrica, os tratamentos 50 e 75% de palhada proporcionaram produtividades 43% maiores que cana-queimada. Sob precipitação adequada, a palhada não influencia no sistema radicular e na produtividade da cultura, a curto prazo. Pode-se retirar 50% de palhada do campo sem que ocorram prejuízos à produtividade da cultura.

**Palavras-chave:** enraizamento, colheita mecanizada, cana-crua, biomassa, raiz, produção agrícola.

## ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the influence of different quantities of straw in the root system and productivity of sugarcane. The experiment was installed in in eutroferric Red Latosol. The effects of six treatments: 0, 25% (5 t ha<sup>-1</sup>), 50% (10 t ha<sup>-1</sup>), 75% (15 t ha<sup>-1</sup>), 100% (20 t ha<sup>-1</sup>) straw and sugarcane burning on the root system and the productivity of sugarcane, at 450 and 300 days after cutting (DAC), respectively, to first and second ratoon. Samples for the evaluation of roots were taken at 0.45 (D1) and 0.75 m (D2) away from the row, 0.60 m deep. The yield was obtained by weighing the stalks. The results were submitted to ANOVA and Tukey test. In periods of water stress, there was a tendency of the quantities 50, 75 and 100% straw promote greater root mass to 0.20 m depth. 50 and 75% straw provided productivity 43% higher than cane burned in during droughts. Under adequate rainfall, the straw does not influence the root system and on crop productivity in the short term. You can remove 50% of straw field without incurring damage to the crop yield.

**Keywords:** rooting, mechanical harvesting, raw cane, biomass, bioenergy, agricultural production.

## 5.1 INTRODUÇÃO

Na safra 2013/14, o Brasil ofertou aos mercados 659 milhões de toneladas de cana, gerando mais de 140 milhões de toneladas de palhada (CONAB, 2014), tendo as principais áreas produtoras de cana-de-açúcar adotado o sistema de colheita mecanizada. No campo, são encontrados valores de 10 a 30 t ha<sup>-1</sup>, oscilando em razão da variedade e da idade do canavial (Oliveira et al., 1999).

A palhada que permanece no solo ocasiona mudanças nas condições químicas, físicas e biológicas do agroecossistema, tais como: aumento e estabilização da umidade do solo; elevação dos teores de matéria orgânica; alterações na fertilidade e na temperatura; incidência de pragas; maior eficácia no controle da erosão; interferência na incidência de luz na superfície do solo; e mudança da flora infestante (CAVENAGHI et al., 2007, GARCIA et al., 2007, GUIMARÃES et al., 2008, COSTA et al., 2011). Essas alterações no ambiente de produção podem interferir na dinâmica de enraizamento e na produtividade final (SOUZA et al., 2005a, COSTA et al., 2011).

O sistema radicular da cana-de-açúcar representa um importante componente de estudo, uma vez que desempenha papel essencial na regeneração das soqueiras após a colheita. Apesar disso, tem sido frequentemente relegado nas pesquisas, devido, principalmente, à dificuldade de acesso e de visualização, sobretudo em avaliações a campo. As raízes influenciam diretamente a eficiência de absorção dos nutrientes pela planta, a resistência à seca e a tolerância ao ataque de pragas do solo, refletindo em todo o desenvolvimento da cultura.

O crescimento das raízes responde ao ambiente do solo, criando plasticidade na forma, no tamanho e na distribuição do sistema radicular (SMITH; INMAN-BAMBER; THORBURN, 2005). Esses componentes são afetados diretamente pela distribuição e disponibilidade da água do solo, causando diferenças na capacidade das plantações em explorar recursos mais profundos do solo.

Vasconcelos e Garcia (2005) ressaltam que a morte ou renovação do sistema radicular não decorrem do corte da cana, mas sim da condição hídrica a que a cultura está submetida em determinado período de desenvolvimento. Neste sentido, o microclima criado pela palhada sobre o solo, caracterizado por elevada

umidade, restrição da perda de água do solo e estabilidade da temperatura, proporciona maior disponibilidade hídrica do que a encontrada em solo descoberto, podendo contribuir para minimizar a queda de produção de um ciclo para outro, principalmente nos períodos de deficiência hídrica.

Vasconcelos (2002), trabalhando com seis variedades de cana-de-açúcar durante dois anos, avaliou a matéria seca de raízes, em cana crua e queimada, até os 0,80 m de profundidade. Exclusivamente na camada de 0–0,20 m, constatou maior desenvolvimento radicular da cana colhida crua mecanicamente, atribuindo essa diferença entre os tratamentos à maior umidade do solo sob palhada no período seco, maior teor em cálcio proveniente da decomposição das palhadas na superfície do solo, e maior teor de matéria orgânica proveniente da atividade microbiológica sobre a palhada.

Outros autores (BALL-COELHO et al., 1993, RESENDE et al., 2006) também relataram os efeitos positivos da palhada, com aumento de até 59% na produção de matéria seca da cana-de-açúcar. Entretanto, não abordaram qual quantidade seria ideal para obtenção de tais benefícios, ou qual o efeito da manutenção de menores quantidades de palhada sobre a cultura.

A definição da quantidade mínima de palhada a permanecer no campo, constitui importante informação para o setor sucroenergético do país, considerando que o excedente pode ser utilizado para a produção de bioetanol ou bioeletricidade, setores que necessitam de grande quantidade desse material. Estima-se que utilização da palhada juntamente com o bagaço triplicaria a produção de etanol, sem a necessidade de aumento da área de plantio (LIMA; NATALENSE, 2010) ou produziria o equivalente a 15% do total de energia consumida no Brasil, até 2020, além de servir como energia complementar a hidroeletricidade (CEISE, 2014).

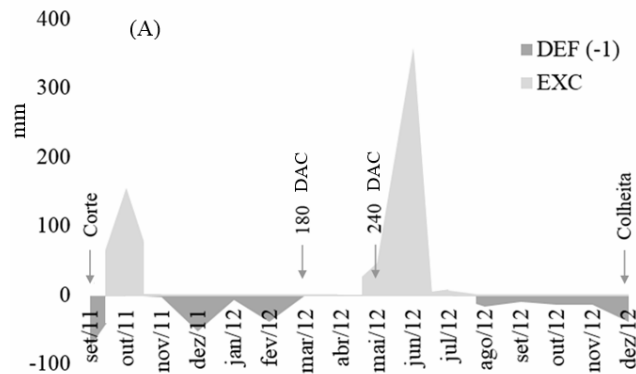
Considerando esses aspectos, o objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito de diferentes quantidades de palhada sobre o sistema radicular e a produtividade das primeira e segunda soqueira de cana-de-açúcar variedade SP 801816, em Latossolo Vermelho eutrófico.

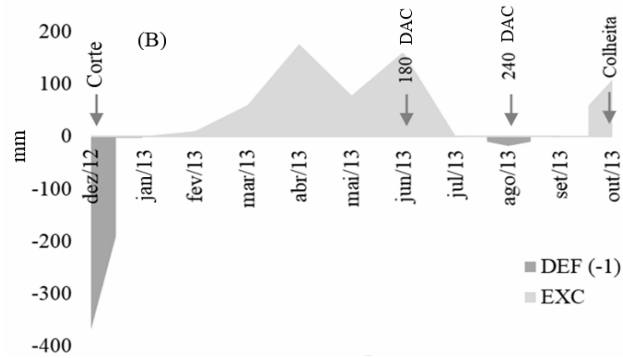
## 5.2 MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi instalado no município de Bandeirantes, à latitude de 23° 06' S, longitude de 50° 21' W e 440 m de altitude, em área pertencente à Usina de Açúcar e Álcool Bandeirantes. O clima predominante na região, baseado na classificação climática de Köppen, é do tipo Cfa, com precipitações médias anuais de 1.300 mm. A insolação média é de 7,14 h dia<sup>-1</sup>.

O balanço hídrico climatológico (Figura 1) foi calculado de acordo com Thornthwaite e Mather (1955). Foram utilizados dados normais de temperatura média mensal e de chuva total mensal, cedidos pela estação meteorológica do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), localizada em Bandeirantes-PR, a três quilômetros do local do experimento. Como capacidade de água disponível (CAD), utilizou-se o valor de 100mm.

**Figura 5.1** Extrato do balanço hídrico mensal ocorrido durante os ciclos de primeira (A) e segunda soqueiras (B), Bandeirantes, PR.





Fonte: Iapar.

O solo está classificado como Latossolo Vermelho eutroférico (Embrapa, 2013b), de textura argilosa, com: 61% de argila; 2% de silte e 37% de areia.

Os valores de densidade do solo, na primeira e segunda soqueiras (2011 e 2012 estão descritos na Tabela 5.1).

Tabela 5.1. Densidade de um solo Latossolo Vermelho eutroférico ( $\text{g cm}^{-3}$ ), nos anos 2012 e 2013. Bandeirantes – PR.

Profundidade (m)	Densidade ( $\text{g cm}^{-3}$ )	
	2012	2013
0 – 0,10	1,33	1,34
0,10 – 0,20	1,30	1,30
0,20 – 0,40	1,30	1,30
0,40 – 0,60	1,29	1,30

As análises químicas do solo foram realizadas nas camadas de 0 – 0,10; 0,10 – 0,20; 0,20 – 0,40 e 0,40 – 0,60 m de profundidade no perfil, no momento da instalação do experimento, em agosto de 2010 (Tabela 5.2). Não houve necessidade de adubação química. Antes do plantio, como prática da usina, foram aplicadas  $70 \text{ t ha}^{-1}$  de torta de filtro em área total. Nos anos anteriores, foram aplicados  $150 \text{ m}^3$  de vinhaça, para suprir a quantidade de potássio extraída pela cultura, após a colheita. O solo foi preparado realizando-se uma gradagem pesada e uma gradagem leve.

Tabela 5.2 Análises químicas de Latossolo Vermelho eutroférico, nas camadas de 0 a 0,60 m, Bandeirantes – PR, 2010.

Prof. (m)	M.O g kg <sup>-1</sup>	pH CaCl <sub>2</sub>	P* mg dm <sup>-3</sup>	Cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				CTC	% Saturação		
				K	Ca	Mg	H+Al		K	Ca	Mg
<b>0–0,10</b>	26,8	5,4	8,6	2,50	7,8	1,7	3,1	15,1	16	52	11
<b>0,10–0,20</b>	41,6	5,9	71,3	3,60	7,9	1,9	2,9	16,3	22	49	12
<b>0,20–0,30</b>	34,9	6,1	31,0	3,70	8,0	2,1	3,0	16,8	22	48	12
<b>0,30–0,40</b>	30,9	6,2	5,1	4,60	8,1	2,1	2,2	17,0	27	48	12
<b>0,40–0,50</b>	37,6	6,3	9,0	4,20	7,3	2,0	2,4	15,9	26	46	13
<b>0,50–0,60</b>	28,2	6,3	5,3	3,20	6,1	2,1	2,4	13,8	23	44	15

\*Utilizado extrator Melich.

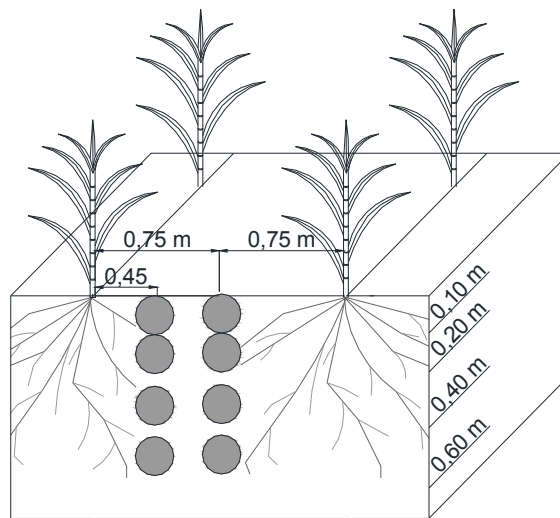
No local onde se instalou o experimento, cultiva-se cana de açúcar há 65 anos. Inicialmente, foi empregado o método de colheita manual com despalha a fogo, sendo que, em 2009, a usina adotou o sistema de colheita mecanizada, utilizando essa técnica também no local do ensaio. O ensaio foi instalado em agosto de 2010 e conduzido durante dois ciclos da cultura (primeira e segunda soqueiras) em blocos casualizados com quatro repetições. Cada parcela foi formada de 10 linhas de cana-de-açúcar, variedade SP 80-1816, com 10 metros de comprimento (10 x 10 m), totalizando 100 m lineares, e espaçamento de entrelinhas de 1,5 metros. Como parcela útil para a coleta dos dados, foram consideradas as seis linhas centrais, subtraindo-se 0,50 m de cada extremidade. Com início do ciclo em setembro de 2011, quando ocorreu o corte da cana-planta, a primeira soqueira foi colhida em dezembro de 2012. Já a segunda soqueira, foi colhida em outubro de 2013.

Foram avaliados seis tratamentos: 0%, 25% (5 t ha<sup>-1</sup>), 50% (10 t ha<sup>-1</sup>), 75% (15 t ha<sup>-1</sup>), 100% (20 t ha<sup>-1</sup>) de palhada e cana-queimada (onde 100% da palhada foi queimada), aos 450 (safra 2011/12) e 300 (safra 2012/13) dias após o corte (DAC), respectivamente, para primeira e segunda soqueira. Em agosto de 2010, logo após o plantio, foram adicionadas no solo as quantidades de palhada correspondente a cada tratamento. Desta maneira, os dados obtidos nas primeira e segunda soqueiras de cana-de-açúcar, resultam, respectivamente, de dois e três anos de cultivo sob palhada.

Para avaliação do sistema radicular, no momento da colheita, foram abertas trincheiras nas entrelinhas, com dimensões de 0,80 x 1,00 x 0,80 m (largura,

comprimento e altura, respectivamente) e utilizados cilindros metálicos com 0,074 m de diâmetro, 0,10 m de altura e volume de 0,00043 m<sup>3</sup> (Azevedo et al., 2011). Estes foram cravados com auxílio de um esticador hidráulico, na parede perpendicular à linha de plantio, a 0,45 e 0,75 m de distância desta linha, nas profundidades de 0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,40 e 0,40 - 0,60 m, em quatro repetições por tratamento (Figura 5.2). Cada repetição foi formada por uma amostra composta de três amostragens realizadas em cada parcela, com o intuito de favorecer a maior representatividade dos resultados. Posteriormente, as amostras foram levadas ao Laboratório de Estudo das Raízes, do Departamento de Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina.

**Figura 5.2** Desenho esquemático detalhando as distâncias de retirada de amostras de raízes, a 0,45 e 0,75 m da linha de plantio de cana-de-açúcar (var. SP 801816) nas profundidades (0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m).



Cada amostra composta foi colocada em um balde plástico com água e agitada manualmente; a água e as raízes em suspensão foram vertidas em uma peneira de malha de dois milímetros. Essa operação foi repetida até não haver mais terra.

Todas as raízes retidas na peneira foram coletadas e levadas à estufa a 65 °C, até peso constante. Depois de secas, foram pesadas em balança de precisão e os resultados apresentados em mg de raízes por cm<sup>3</sup> de solo.

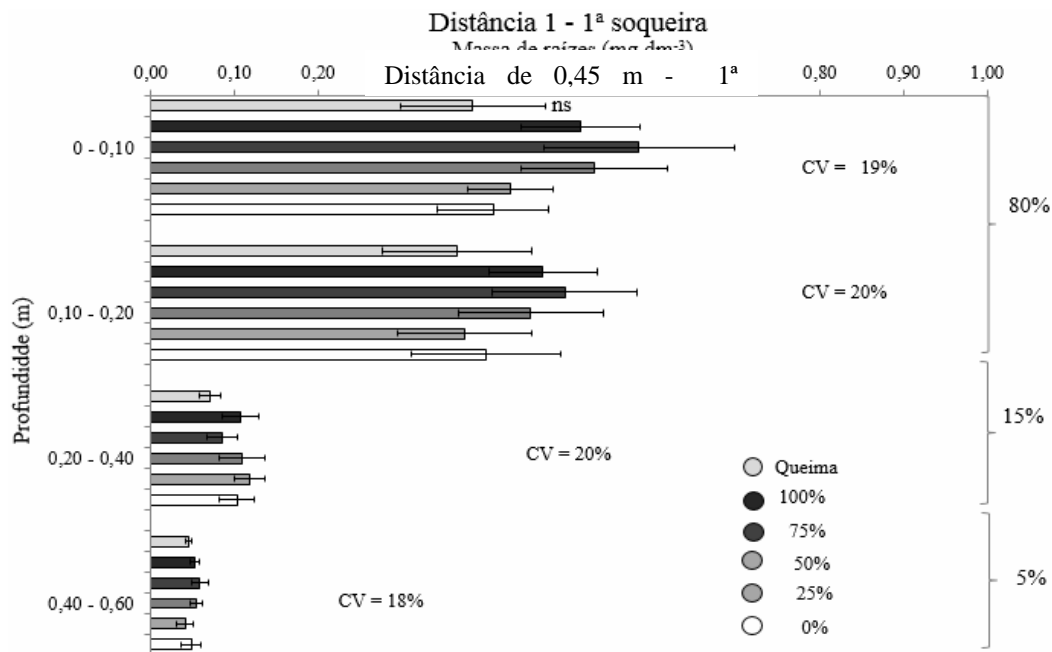
A massa fresca dos colmos, em toneladas de cana por hectare ( $Mg\ ha^{-1}$ ), foi avaliada aos 450 DAC (dezembro/2012), na primeira soqueira, e aos 300 DAC (outubro/2013), na segunda soqueira, através da coleta total dos colmos contidos na área útil das parcelas. Foram retiradas as folhas verdes e secas, realizado o desponte e, então, a pesagem. A escassez de mão de obra na usina para realização da colheita da primeira soqueira foi o que motivou o atraso no corte deste período. A ocorrência de geada no mês de julho de 2013, antecipou a colheita da cana de segunda soqueira, que ocorreu no mês de outubro.

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

### 5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

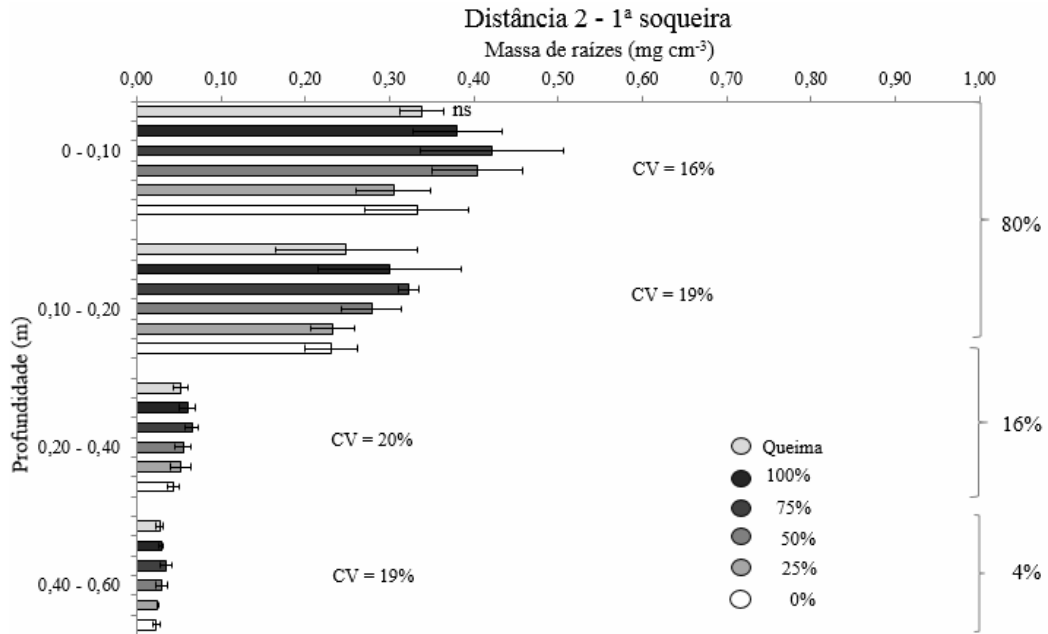
Não houve efeito estatisticamente significativo da palhada sobre o sistema radicular, tanto na primeira, quanto na segunda soqueira (Figuras 5.3 a 5.6)

**Figura 5.3** Massa seca de raízes ( $mg\ cm^{-3}$  de solo) da primeira soqueira, à distância 0,45 m da touceira, aos 450 DAC, nas camadas 0 - 0,10, 0,10 – 0,20, 0,20 – 0,40 e 0,40 - 0,60 m, e porcentagem média de distribuição de raízes no perfil avaliado.

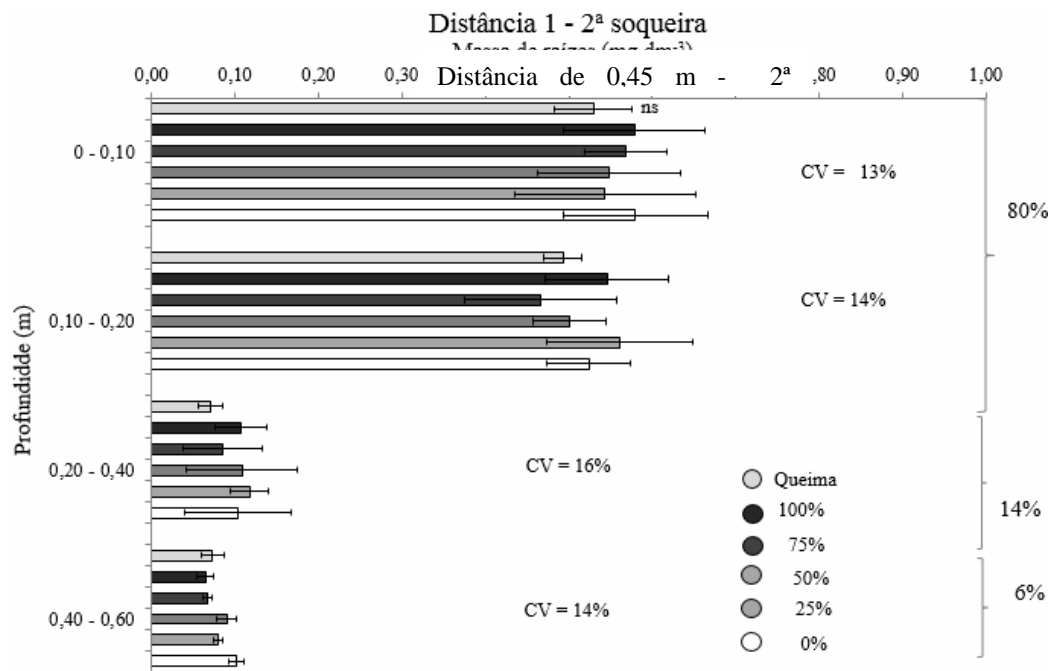


**Figura 5.4** Massa seca de raízes ( $mg\ cm^{-3}$  de solo) da primeira soqueira, à distância

0,75 m da touceira, aos 450 DAC, nas profundidades (0 - 0,10, 0,10 – 0,20, 0,20 – 0,40 e 0,40 - 0,60 m e porcentagem média de distribuição de raízes no perfil avaliado.

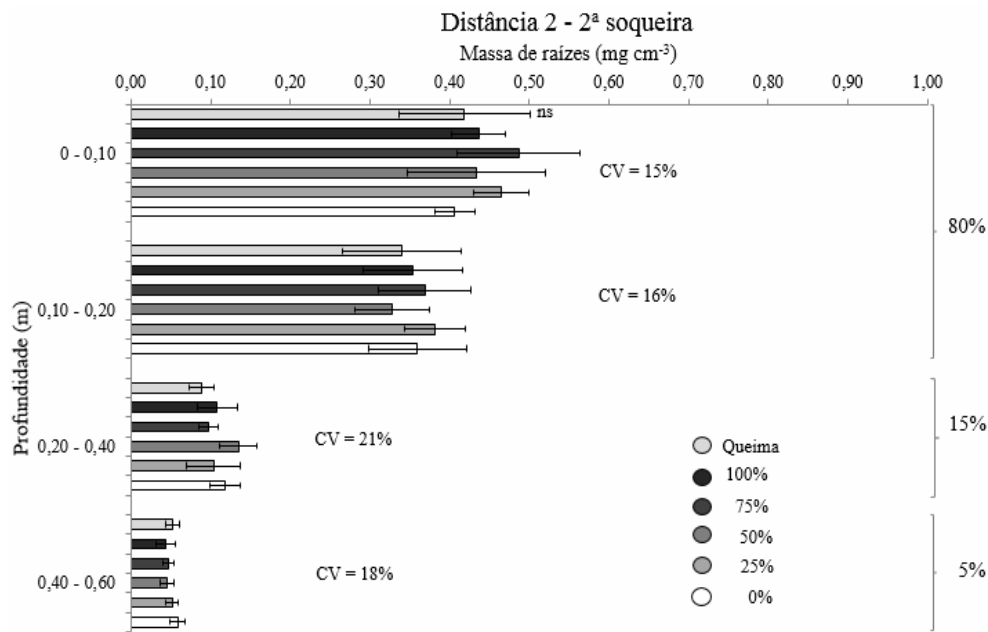


**Figura 5.5** Massa seca de raízes (mg cm<sup>-3</sup> de solo) da segunda soqueira, à distância 0,45 m da touceira, aos 300 DAC, nas camadas de 0 - 0,10, 0,10 – 0,20, 0,20 – 0,40 e 0,40 - 0,60 m, e porcentagem média de distribuição de raízes no perfil avaliado.



**Figura 5.6** Massa seca de raízes (mg cm<sup>-3</sup> de solo) da segunda soqueira, à distância

0,75 m da touceira, aos 300 DAC, nas camadas de 0 - 0,10, 0,10 – 0,20, 0,20 – 0,40 e 0,40 - 0,60 m, e porcentagem média de distribuição de raízes no perfil avaliado.



A alta variabilidade dos dados, fato comum ao se trabalhar com raízes, pode ter contribuído para a ausência de resultados significativos estatisticamente até os 0,20 m de profundidade. Além disso, após o período de deficiência hídrica ocorrida até os 180 DAC, houve excessiva disponibilidade hídrica (358 mm) no mês de junho de 2012 (270 DAC), favorecendo a retomada do crescimento radicular e o aumento da massa de raízes nos tratamentos, que poderiam estar mais desfavorecidos, com menor suprimento de água no solo. Aquino (2012) ao avaliar o mesmo experimento no ciclo de cana-planta, quando houve intenso déficit hídrico do início até o final do ciclo, verificou que os tratamentos 50 ( $10 \text{ t ha}^{-1}$ ), 75 ( $15 \text{ t ha}^{-1}$ ) e 100% ( $20 \text{ t ha}^{-1}$ ) de palhada não diferiram estatisticamente entre si e proporcionaram maior massa de raízes e maior produtividade em relação aos tratamentos cana queimada, 0 e 25% ( $5 \text{ t ha}^{-1}$ ) de palhada.

Esse efeito de mortalidade de raízes foi verificado por Vasconcelos (2002), que observou que, em condições de deficiência hídrica a cana-de-açúcar não consegue manter a quantidade de raízes já adquiridas, resultando em grande

mortalidade; e por Faroni (2005), que ao avaliar as raízes ativas de cana-de-açúcar, em Latossolo Vermelho distrófico, verificou que as raízes superficiais são as primeiras a morrerem durante o período de estiagem, e são também as primeiras a se renovarem durante o período chuvoso, ocorrendo renovação parcial em um mesmo ciclo da soqueira quando o solo volta a ter umidade suficiente. Assim, a retomada de crescimento, com conseqüente aumento da massa de raízes, pode colaborar para a ausência de significância estatística entre os tratamentos. No entanto, nesse processo de retomada de crescimento, ocorre elevado gasto de energia, que pode refletir na produtividade da cultura.

Vasconcelos e Garcia (2005), trabalhando com seis variedades de cana-de-açúcar durante dois anos, avaliaram a matéria seca de raízes, em cana crua e queimada, considerando as camadas 0-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60 e 0,60-0,80 m de solo. Exclusivamente na camada de 0-0,20 m, constatou maior desenvolvimento radicular da cana colhida crua, corroborando com o presente trabalho. O autor atribuiu essa diferença entre os tratamentos à maior umidade do solo sob palhada no período seco, maior teor em cálcio proveniente da decomposição da palhada na superfície do solo, e maior teor de matéria orgânica proveniente da atividade microbiológica sobre a palhada.

Na segunda soqueira, quando, com exceção do período de corte, ocorreu excesso hídrico até 210 DAC (julho de 2013) e pequena deficiência apenas no mês de agosto/2013 (Figura 5.1B), observou-se que a massa de raízes foi similar entre os tratamentos em todas as profundidades avaliadas, tanto na distância a 0,45 quanto a 0,75 m da linha de plantio. (Figuras 5.5 e 5.6).

Braunbeck e Magalhães (2010) indicaram redução na perda de água do solo de, aproximadamente, 70% com o uso do plantio sob palhada. Souza et al. (2005a) também ressaltam que, a maior taxa de infiltração e retenção de água no solo, além de menores temperaturas proporcionadas pela palhada, tornam-se importante benefício para a cultura principalmente em períodos com deficiência hídrica ou precipitação irregular, que ocasionam quedas de produtividade.

Alvarez, Castro e Nogueira (2000) avaliaram os efeitos do manejo de cana crua e queimada no enraizamento em um Latossolo Vermelho Escuro distrófico. Não verificaram diferença significativa tanto no primeiro, quanto no segundo ano de cultivo, até 0,60 m de profundidade. Esta ausência de efeito da

palhada, pode ser devido ao genótipo, idade e ao ambiente de produção em que executaram a avaliação. Verificou-se que, em ambos os anos avaliados pelos autores, não houve eventos climáticos desfavoráveis, praticamente em todos os meses. Sob condições climáticas não muito estressantes às plantas, é provável que o efeito da palhada não seja imediato, diferindo de regiões ou períodos que apresentam condições menos favoráveis, como no presente trabalho.

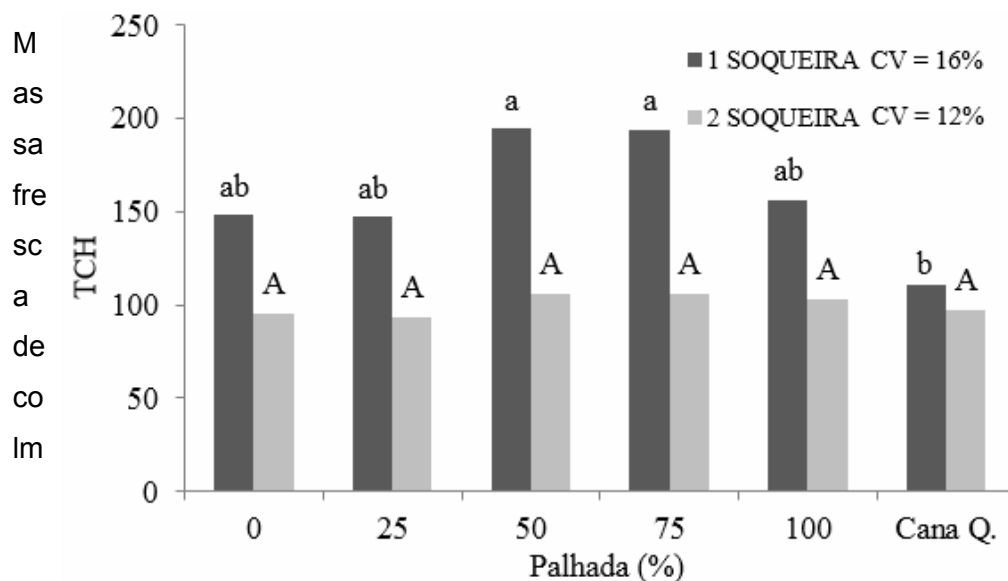
A distribuição das raízes (Figuras 5.3 a 5.6) no perfil avaliado (até os 0,60 m de profundidade) apresentou-se similar a de outras gramíneas tropicais, com declínio exponencial de biomassa em função da profundidade (SMITH; INMAN-BAMBER; THORBURN, 2005).

A profundidade efetiva, que é a profundidade em que se concentram 80% das raízes do perfil avaliado, foi de 0,18 m, na primeira soqueira, tanto a 0,45 m (Figura 5.3), quanto a 0,75 m da linha de plantio (Figura 5.4). Na segunda soqueira, foi de 0,21 m, na distância a 0,45 m (Figura 5.5) e, 0,19 m na distância a 0,75 m (Figura 5.6), indicando que, praticamente, não houve alteração em relação a primeira soqueira. Costa et al. (2007), em avaliação da distribuição radicular vertical em Latossolo Vermelho Amarelo, cultivares RB83-5486 e RB83-5089, também verificaram que os primeiros 0,18 m de profundidade mostraram maior comprimento de raízes. A redução no comprimento radicular foi acentuada quando se passou da profundidade de 0–0,18 para 0,18–0,36 m. Medina et al. (2002) encontraram resultados semelhantes, quando avaliaram o enraizamento da variedade RB 785148, em Latossolo Vermelho, até a profundidade de 0,50 m. Verificaram maior concentração de raízes na camada de 0 a 0,25 m.

Comparando-se as massas de raízes da primeira e da segunda soqueiras, nota-se que os tratamentos com menores quantidades de palhada (0, 25% e cana queimada) que apresentaram menor massa radicular até os 0,20 m de profundidade na primeira soqueira, resultaram em maiores valores na segunda soqueira, que teve maior disponibilidade hídrica, tanto na distância a 0,45 m, quanto na distância a 0,75 m da linha de plantio. Os tratamentos 50, 75 e 100% de palhada mantiveram estáveis a massa de raízes, em ambas as distâncias e épocas. Faroni (2005) também observou que, em períodos em que não houve deficiência hídrica severa, a quantidade de raízes vivas e ativas de cana-de-açúcar, em solo descoberto, aumentou com o passar do tempo, após a colheita.

Em relação à produtividade, na primeira soqueira, em que ocorreu deficiência hídrica até os 180 DAC, houve efeito estatisticamente significativo da palhada (Figura 5.7). As quantidades 50 e 75% de palhada não diferiram entre si e apresentaram, estatisticamente, as maiores médias de produção (194,30 e 193,67  $\text{Mg ha}^{-1}$ , respectivamente), 43% a mais do que o tratamento cana queimada (110,33  $\text{Mg ha}^{-1}$ ). Observou-se ainda, que os tratamentos 50 e 75% de palhada proporcionaram produção 24% maior em relação aos tratamentos 0 e 25% de palhada, apesar de não diferirem estatisticamente. Na segunda soqueira, não houve efeito da palhada na produtividade (Tabela 5.7).

**Figura 5.7** Produção de cana-de-açúcar ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) em relação à porcentagem de palhada em superfície (%), na primeira (safra 2011/12) e segunda soqueira (safra 2012/13). Bandeirantes-PR.



Esses dados corroboram os obtidos por outros autores, que afirmam que o déficit hídrico na fase inicial do ciclo afeta drasticamente o rendimento da cultura, reduzindo algumas variáveis de crescimento, resultando em diminuição do peso de colmos (Rao et al., 2005; Silva et al., 2008, Aquino, 2012).

Chaves (2008) destaca que a deficiência hídrica é um dos fatores de estresse que causam maiores danos nos processos fisiológicos e metabólicos das plantas, acarretando reduções na produtividade, especialmente pela redução da fotossíntese. Um ligeiro ressecamento do solo, ainda que não afete as relações

hídricas da parte aérea, causa aumento na concentração de ABA (ácido abscísico) produzido na coifa das raízes; levando ao fechamento estomático e a diminuição de substrato para fotossíntese. Interrompido o déficit, o desenvolvimento é recuperado somente nas folhas mais jovens.

Assim, verifica-se que a maior massa de raízes, proporcionada por quantidades acima de 50% de palhada, provavelmente devido a manutenção de maior umidade no solo, possibilitaram que a cultura tivesse melhores condições de desenvolvimento, acarretando em maior produtividade.

Na primeira soqueira, a estiagem prolongada, ocorrida até metade do ciclo, proporcionou condições para que a palhada influenciasse no desenvolvimento das plantas, visto que um dos principais benefícios deste resíduo, é promover maior infiltração e retenção de água no solo. Na segunda soqueira, quando as condições hídricas não foram restritivas, tanto a massa de raízes quanto a produtividade não diferiram entre os tratamentos.

Conforme pode-se constatar, é uma característica natural da cana-de-açúcar ter maior concentração de raízes na camada 0 – 0,20 m. Esta camada, por ser superficial, é vulnerável às condições climáticas, com influência direta sobre o sistema radicular, fazendo com que a cultura apresente forte queda na produção em situações desfavoráveis de ambiente. Vasconcelos e Garcia (2005) destacam que a morte ou a renovação das raízes está diretamente ligada à disponibilidade hídrica e à temperatura do solo. Ao cessar a deficiência hídrica, ocorre elevado gasto de energia para a formação de novas raízes, impactando também na produtividade final, conforme constatado por Tavares, Lima e Zonta (2010), Aquino e Medina (2014), Costa et al. (2014) e no presente trabalho.

Os resultados obtidos por Aquino e Medina (2014), ao avaliarem a produtividade de cana-planta (variedade SP80 1816) sob diferentes quantidades de palhada, corroboram com o presente trabalho. Os autores verificaram que, com a ocorrência de severa deficiência hídrica nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura, os tratamentos com 50 e 75% de palhada proporcionaram aumento de 25% na produtividade média, em relação aos tratamentos com menores quantidades de palhada. Resende et al. (2006) observaram que a manutenção da palhada no sistema proporcionou aumento de 28% na produção de colmos ao longo de 12 ciclos.

Entretanto, há autores que observaram menor produtividade final com o uso de 100% de palhada na cana crua (Campos et. al., 2008). Todavia, não se sabe se esse mesmo efeito seria obtido em menores quantidades de palhada.

No presente trabalho, em condições de deficiência hídrica, a quantidade 50% de palhada foi suficiente para promover melhorias no sistema radicular e na produtividade da cultura, e, acima desse valor, não houve respostas significativas, podendo ser empregado o restante desse resíduo em outros setores, como na produção de bioetanol ou bioenergia, maximizando o aproveitamento energético advindo da cultura, sem prejuízos à sustentabilidade do sistema de cultivo.

Dantas Neto et al. (2006) consideram que métodos de manejo que proporcionem aumento do suprimento hídrico nas fases iniciais e de grande crescimento, acarretarão em melhoria do rendimento agrícola e industrial da cana de açúcar. Resende et al. (2006), após experimento de 16 anos, salientam que a manutenção da palhada no sistema é essencial para a produtividade da cultura, a sustentabilidade do sistema e a produção de açúcar a longo prazo, concordando com os resultados obtidos a curto prazo, no presente trabalho.

#### **5.4 CONCLUSÕES**

1. O crescimento e a produtividade não são afetados pela mudança no sistema de colheita de cana queimada para cana sob palhada.
2. A colheita com cana queimada diminui a produtividade da cultura, em períodos de deficiência hídrica.
4. 50% ( $10 \text{ t ha}^{-1}$ ) de palhada são suficientes para proporcionar aumento da produtividade, em períodos de suprimento hídrico inadequado.
5. Em condições de precipitação adequada, a palhada não influencia no sistema radicular e na produtividade da cultura, a curto prazo.
6. Pode-se retirar os 50% ( $10 \text{ t ha}^{-1}$ ) de palhada do campo para os processos industriais sem que ocorram prejuízos à produtividade da cultura.

#### **5.5 AGRADECIMENTOS**

À PETROBRÁS, pelo financiamento do trabalho. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudo. À Usina de Bandeirantes, pela cessão da área experimental e apoio técnico nas avaliações.

## 6 ARTIGO C: PRODUTIVIDADE E QUALIDADE INDUSTRIAL DE CANA-DE-AÇÚCAR SOB DIFERENTES QUANTIDADES DE PALHADA

### RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes quantidades de palhada na produtividade e na qualidade industrial da cana-de-açúcar, variedade SP801816, após quatro anos de cultivo. O experimento foi instalado em Latossolo Vermelho eutroférico, textura argilosa. Foram avaliados seis tratamentos: 0, 25 (5 t ha<sup>-1</sup>), 50 (10 t ha<sup>-1</sup>), 75 (15 t ha<sup>-1</sup>), 100% (10 t ha<sup>-1</sup>) de palhada e cana-queimada, sobre a produtividade, em toneladas de cana por hectare (TCH) e a qualidade industrial (Pol, Brix, fibra, pureza aparente, AR e ATR) da cana-de-açúcar. A produtividade foi avaliada no final do ciclo. A qualidade industrial foi avaliada em três períodos: 180 e 240 dias após o corte (DAC) e na pré-colheita (350 DAC). Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey. A palhada não influenciou a qualidade industrial em nenhum período de avaliação; entretanto, em condições de deficiência hídrica, os tratamentos com 50 e 75% de palhada proporcionaram produtividade (TCH) 32% maior que os tratamentos cana-queimada, 0 e 25% de palhada sobre o solo, favorecendo, assim, a maior produção de açúcar. A retirada de 50% da palhada não causa prejuízos à cultura.

**Palavras-chave:** resíduo agrícola, palhço, biomassa, características tecnológicas, bioenergia, cana crua.

## **Productivity and quality of industrial sugarcane under different amounts of straw mulch**

### **ABSTRACT**

The objective of this work was to evaluate the effect of different amounts of straw on productivity and industrial quality sugarcane variety SP801816, after four years of cultivation. The experiment was installed in eutroferric Red Latosol. Six treatments were evaluate: 0, 25 (5 t ha<sup>-1</sup>), 50 (10 t ha<sup>-1</sup>), 75 (15 t ha<sup>-1</sup>), 100% (10 t ha<sup>-1</sup>) straw and sugarcane burning, on productivity in tonnes of cane per hectare (TCH) and industrial quality (Pol, Brix, fiber, purity, AR and ATR) of sugarcane. Productivity was assessed at the end of the cycle. Industrial quality was evaluated in three periods: 180 and 240 days after cutting (DAC) and the preharvest (350 CAD). The results were submitted to analysis of variance and means compared by Tukey test. The straw did not affect the industrial quality in any evaluation period; however, under water stress conditions, treatments with 50 and 75% straw provided productivity (TCH) 32% higher than the cane burned treatments, 0 and 25% of straw on the ground, thus favoring the largest production sugarcane. The withdrawal of 50% of the straw does not cause damages to the crop.

**Key-words:** agricultural waste, straw, biomass, technological characteristics, green cane.

## 6.1 INTRODUÇÃO

Após a colheita mecanizada, uma densa camada de cobertura vegetal é disponibilizada e depositada sobre o solo, sucessivamente, ao longo dos anos. Essa cobertura composta de folhas verdes e secas, ponteiros, frações de colmos e, eventualmente, de raízes é denominada de palhada.

Apenas na safra 2013/14 foram produzidas 659 milhões de toneladas de cana, fazendo com que mais de 140 milhões de toneladas de palhada ficassem disponíveis. No campo, são encontrados valores de 10 a 30 t ha<sup>-1</sup>, oscilando em razão da variedade e da idade do canavial (CHRISTOFFOLETI et al., 2007).

Esse volume sobre o solo cria um microclima diferenciado, ocasionando alterações químicas, físicas e biológicas no ambiente agrícola, dentre as quais, destacam-se: elevação dos teores de matéria orgânica do solo; aumento e estabilização da umidade; alterações na fertilidade e na temperatura; incidência de pragas; maior eficácia no controle da erosão; interferência na incidência de luz na superfície do solo; e mudança da flora infestante (CAVENAGHI et al., 2007, GARCIA et al., 2007, GUIMARÃES et al., 2008, COSTA et al., 2011).

O desenvolvimento inicial, o crescimento e a produtividade das plantas também são influenciados pelas mudanças no ambiente de produção, refletindo na longevidade do canavial e na qualidade da matéria prima. Este fato ganha maior importância, quando se considera que as variedades de cana-de-açúcar disponíveis foram desenvolvidas em ambiente de cana queimada, de modo que podem apresentar respostas diferentes quanto à adaptabilidade às mudanças (SOUZA et al., 2005a).

Campos et al. (2010) avaliaram a influência de três manejos da palha (10 t ha<sup>-1</sup>) na produtividade da cana-de-açúcar, variedade RB855453. Observaram efeito negativo da palhada em área total, com redução de 16% na produtividade. Resultados semelhantes foram encontrados por Campos et al. (2008). Entretanto, Ball Coelho et al. (1993) observaram que a manutenção da palhada sobre o solo causou aumentos de 43% na produção de matéria seca da cana-de-açúcar.

Felipe (2010) ressalta que o caldo, constituído por água (75-82%) e sólidos solúveis (10-25%) pode se modificar devido à influência de vários fatores, comprometendo a qualidade final. Entre os principais fatores, destacam-se: o manejo da cultura, umidade e temperatura do solo, sistema de colheita e as condições climáticas.

Resende et al. (2006) após 16 anos de cultivo, concluíram que manutenção da palhada no solo não afetou a qualidade do caldo de cana-de-açúcar, embora tenha influenciado, de forma positiva, a produção de açúcar, com ganho de até 59% na produção de colmos.

Souza et al. (2005a) avaliaram o efeito de 10 t ha<sup>-1</sup> de palhada (100%) em 18 variedades de cana-de-açúcar e concluíram que a qualidade do caldo varia em função das variedades e do sistema de manejo da palhada remanescente após a colheita, e que o uso do cultivo da entrelinha com escarificador aumentou a produção de colmos, entretanto, reduziu ATR e a sacarose aparente das soqueiras da cana colhida sem queima, comparado ao sistema sem cultivo.

Conforme já citado, diversos autores relataram os benefícios obtidos com a manutenção da palhada sobre a superfície do solo. Entretanto, há os que constataram (Campos et. al., 2008, 2010) que a quantidade de palhada sobre a soqueira dificultou a emergência das plantas, causando falha na rebrota e diminuição da produtividade final. É importante salientar que os trabalhos que constam na literatura não abordam qual quantidade de palhada seria suficiente para obtenção de tais benefícios ou se os efeitos negativos da palhada sobre a soqueira seriam os mesmos se menores quantidades de palhada fossem deixadas sobre o solo.

Sabendo-se qual a quantidade necessária para o desenvolvimento sustentável da cana-de-açúcar será possível quantificar o excedente de palhada que pode ser utilizado para a produção de bioeletricidade ou bioetanol, setores que necessitam de grande quantidade desse material. Segundo Lima e Natalense (2010), a utilização da palhada juntamente com o bagaço triplicaria a produção de etanol, sem necessidade de ampliação da área de plantio, e produziria o equivalente a 15% do total de energia consumida até 2020, no Brasil, além de servir como energia complementar à hidroeletricidade.

Compreende-se, desta forma, que são primordiais trabalhos que identifiquem a quantidade de palhada que deve permanecer no campo para maior benefício da cultura e sustentabilidade do sistema solo-planta, haja vista a ausência de informação na literatura.

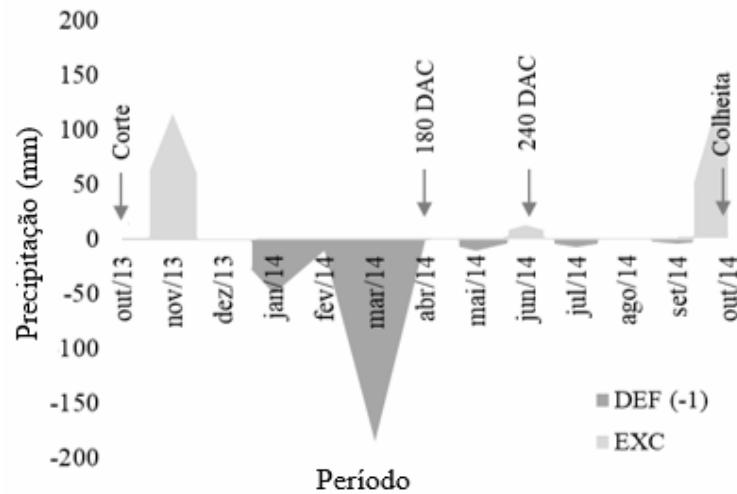
Considerando-se esses aspectos, o objetivo desse trabalho foi avaliar a produtividade e a qualidade industrial da soqueira de cana-de-açúcar, cultivada com diferentes quantidades de palhada em Latossolo Vermelho eutroférico.

## **6.2 MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi implantado em área pertencente à Usina de Açúcar e Alcool Bandeirantes, localizada no município de Bandeirantes-PR, à latitude de 23° 06' S, longitude 50° 21' W e 440 m de altitude. O clima predominante na região, segundo Köppen, é do tipo Cfa com precipitação média anual de 1.300 mm, e insolação média de 7,1 h dia<sup>-1</sup>.

O balanço hídrico climatológico (Figura 6.1) foi calculado de acordo com Thornthwaite e Mather (1955). Foram utilizados dados de temperatura média mensal e de chuva total mensal, fornecidos pela estação meteorológica do Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR), localizada em Bandeirantes-PR, a dois quilômetros do local do experimento. Como capacidade de água disponível (CAD), utilizou-se o valor de 100 mm.

**Figura 6.1** Extrato do balanço hídrico mensal ocorrido durante o ciclo de terceira soqueira (safra 2013/14), Bandeirantes, PR.



O solo é um Latossolo Vermelho eutroférico, de textura argilosa (Embrapa, 2013b). Em setembro de 2013, foi realizada a análise química (Tabela 6.1) e textural do solo, que apresentou 68% de argila, 38% de areia e 2% de silte. Não houve necessidade de adubação química, tendo sido aplicada torta de filtro em área total, na quantidade de 70 t ha<sup>-1</sup>, no período de plantio.

**Tabela 6.1** Resultado de análises químicas de Latossolo Vermelho eutroférico, Bandeirantes – PR, 2013.

Prof m	pH CaCl <sub>2</sub>	P mg dm <sup>-3</sup>	K -----	Al -----	Ca Cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> -----	Mg -----	CTC -----	V (%)	M.O. g kg <sup>-1</sup>
0-0,20	5,8	36,9	3,2	0,00	7,9	1,9	16,0	81,2	34,4

Na área onde se instalou o experimento, cultivou-se cana-de-açúcar por 65 anos, com método de colheita manual com despalha a fogo. Em 2009, a usina adotou o sistema de colheita mecanizada, tendo sido essa a técnica utilizada no local do experimento.

A avaliação foi conduzida durante um ciclo da cultura de cana-de-açúcar, variedade SP 801816, (terceira soqueira) em blocos casualizados com quatro repetições. A implantação do experimento foi realizada em agosto de 2010, sendo que, logo após o plantio, foram adicionadas no solo as quantidades de

palhada correspondentes a cada tratamento. Desta maneira, os dados obtidos na terceira soqueira de cana-de-açúcar, resultam de quatro anos de cultivo sob palhada. O corte da cana-de-açúcar para o início do ciclo de terceira soqueira ocorreu em outubro de 2013.

Cada parcela foi constituída por 10 linhas de cana-de-açúcar, com 10 metros de comprimento (10 linhas x 10 m) e espaçamento de 1,50 m. A parcela útil considerada para a coleta dos dados foi composta de seis fileiras centrais de nove metros lineares, totalizando 54 metros lineares, deixando-se 0,50 m de cada extremidade e as duas linhas laterais como bordadura.

Foram avaliados os efeitos de seis tratamentos: 0, 25% ( $5 \text{ t ha}^{-1}$ ), 50% ( $10 \text{ t ha}^{-1}$ ), 75% ( $15 \text{ t ha}^{-1}$ ), 100% ( $20 \text{ t ha}^{-1}$ ) de palhada e cana queimada (onde 100% da palhada foi queimada) sobre a qualidade industrial do caldo e a produtividade. Os componentes de qualidade industrial Pol, sólidos solúveis (Brix), fibra, pureza aparente, açúcares redutores (AR) e açúcar total recuperável (ATR), foram avaliados aos 180 e 240 dias após o corte (DAC) e no período de pré-colheita (350 DAC), por meio da coleta de dez colmos de cana por parcela, sendo descartadas as folhas verdes e secas e realizado o desponte. As amostras foram encaminhadas imediatamente ao laboratório da usina e as análises foram realizadas segundo metodologia da CONSECANA (2003).

A massa fresca dos colmos, em toneladas de cana por hectare ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ), foi avaliada no final do ciclo, aos 360 DAC (outubro/2014), por meio da coleta total dos colmos contidos na área útil das parcelas. Foram retiradas as folhas verdes e secas, realizado o desponte e, então, a pesagem.

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

### **6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Observou-se que houve aumento dos sólidos solúveis (Brix), Pol, pureza aparente e ATR dos 180 até os 350 DAC, ocorrendo de forma mais acentuada até os 240 DAC. Ao final do ciclo obteve-se entre os tratamentos, média

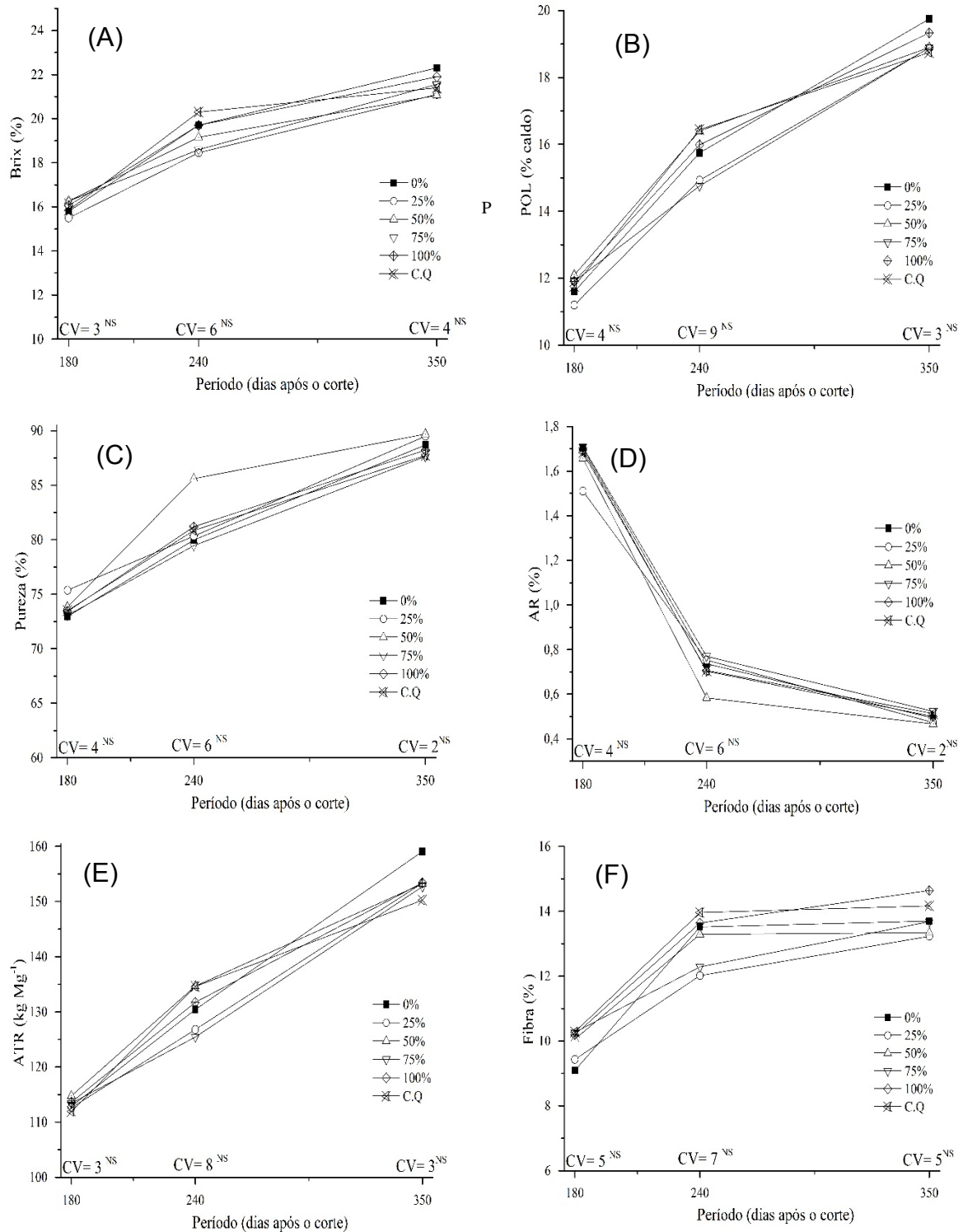
de 21,6 °Brix, 19,1% de Pol, 89% de pureza aparente e 154 kg t<sup>-1</sup> de ATR (Figura 6.2). Entretanto, não houve diferença estatística entre os tratamentos.

Segundo Fernandes (2000) o valor dos sólidos solúveis (Brix) considerado adequado para o início da colheita é de 14,4%. A pureza do caldo deve estar acima de 80% no início, e 85% no decorrer da safra. Pode-se observar que, independente dos tratamentos, a variedade apresentou valores acima dos citados como bons, sendo considerada rica. Segundo o mesmo autor, variedades consideradas ricas são quando o teor de sacarose é maior que 14% e a pureza do caldo maior que 85%.

Os valores de AR (%) (Figura 6.2D) apresentaram queda acentuada dos 180 aos 240 DAC, passando de 1,7 para 0,7%, indicando início da maturação, uma vez que, à medida que a cana amadurece, ocorre o acúmulo de sacarose e diminuição dos teores de açúcares redutores nos internódios. Ao final do ciclo, chegaram a 0,5%. Houve aumento do teor de fibra (Figura 6.2F) de forma acentuada dos 180 aos 240 DAC, passando dos 9,9 para 13,1%, alcançando 13,8% aos 350 DAC, valor um pouco acima da média considerada padrão, que é de 12,5%. Segundo Fernandes (2000), provavelmente, devido ao longo período de baixa disponibilidade hídrica enfrentado durante este ciclo.

No mesmo experimento, Aquino (2012) e Aquino et al. (2013), verificaram que a qualidade industrial do caldo da cana-planta e das soqueiras subsequentes (até a segunda soqueira) também não foram alteradas pelo cultivo com diferentes quantidades de palhada sobre o solo. Pode-se verificar, portanto, que a mudança no sistema de colheita, há 65 anos com cana queimada para o cultivo com diferentes quantidades de palhada, não afetou negativamente os componentes da qualidade industrial, após quatro anos de implantação, mostrando que a cultura possui boa adaptabilidade ao sistema sob palhada. Souza et al. (2005b) observaram que, quando se incorporou a palhada até 0,30 m de profundidade, houve redução do ATR e da sacarose aparente das soqueiras de 18 variedades de cana-de-açúcar, fato não observado no presente trabalho, em nenhuma quantidade de palhada testada, porém deixadas sobre a superfície do solo.

**Figura 6.2** Brix (A), Pol (B), Pureza aparente (C), Açúcares Redutores (AR) (D), Açúcares Totais Recuperáveis (ATR) (%) no caldo (E) e fibra (F) (%) da cana-de-açúcar em relação à quantidade de palhada em superfície (%), terceira soqueira (safra 2013/2014). Bandeirantes – PR. NS=Não significativo pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.



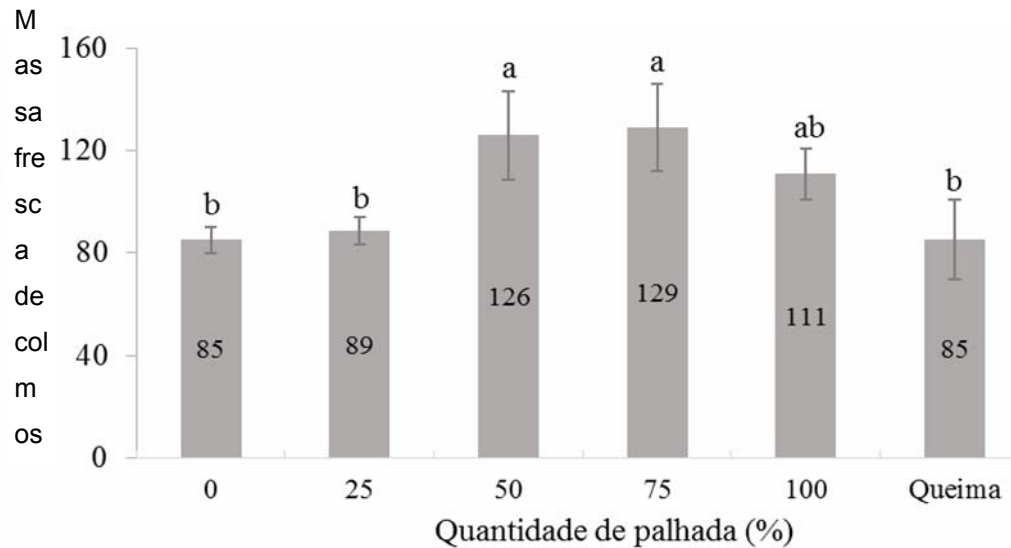
Campanhão (2003) avaliou a cana-de-açúcar em área com 14,8 t ha<sup>-1</sup> de palhada e colhida com queima. Verificou que a qualidade industrial do caldo em área com palhada foi superior até os 29 dias que antecederam a colheita, não ocorrendo variação durante a colheita. A pureza do caldo (%) foi maior (86,41) e o AR % caldo menor (0,88) para tratamento com palhada, indicando melhor qualidade de matéria prima, fato não observado no presente trabalho.

Pessate (2009), estudando os efeitos da palhada em um ciclo da soqueira, observou que a retirada total da palha na área ou sua manutenção (total ou enleirada) não promoveu diferenças significativas nas características tecnológicas da cana-de-açúcar, concordando com os resultados obtidos por Resende et al. (2006), que avaliaram o efeito da palhada no solo, após 16 anos de cultivo da cana-de-açúcar.

A palhada influenciou positivamente na produtividade da cultura (Figura 6.3). Os tratamentos 50 e 75% de palhada não diferiram entre si e apresentaram as maiores médias de produção (126 e 129 Mg ha<sup>-1</sup>), respectivamente), correspondendo a 32% a mais em comparação aos tratamentos 0, 25% de palhada e cana queimada (85, 89 e 85 Mg ha<sup>-1</sup>).

Observando-se a Figura 6.1, nota-se que houve disponibilidade hídrica somente em três meses durante o ciclo: novembro de 2013, junho e outubro de 2014 (respectivamente aos 30, 240 e 360 DAC), ocorrendo baixa disponibilidade desde o período do corte (exceção do mês de novembro de 2013) até os 240 DAC, com severa deficiência dos 90 aos 150 DAC (meses de janeiro a março), atingindo 157 mm negativos, nesse último mês. Aos 240 DAC (junho de 2014) houve pequena precipitação, de 12mm, retornando ao baixo suprimento hídrico já no mês subsequente, que continuou até o final do ciclo.

**Figura 6.3** Produção de cana-de-açúcar (Mg ha<sup>-1</sup>) em relação à quantidade de palhada em superfície (%), terceira soqueira (safra 2013/2014). Bandeirantes–PR. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si, pelo teste Tukey, a 3% de probabilidade.



A baixa disponibilidade seguida de severa deficiência hídrica, principalmente nos estádios iniciais da cultura (180 DAC) influencia diretamente na produtividade, uma vez que, nesse período, é imprescindível que haja maior oferta hídrica para que as plantas se desenvolvam adequadamente. Soares et al. (2004) ressaltam que os danos causados na planta e na produtividade de colmos devido aos períodos de estresse hídrico, são maiores quando ocorrem nas primeiras fases da cultura, pois pode prejudicar ou atrasar o desenvolvimento da parte aérea. Quando ocorre nas demais fases, a produtividade de colmos é pouco afetada.

Tavares, Lima e Zonta (2010) verificaram que o déficit hídrico reduziu as trocas gasosas e sua condução para a folha. Com a interrupção do déficit hídrico, as trocas gasosas tenderam a voltar ao normal; porém, em velocidade lenta, o que pode comprometer a produção de material vegetal durante todo o ciclo. Vasconcelos e Garcia (2005) destacam que o sistema radicular também é fortemente afetado, e que a morte ou a renovação das raízes está diretamente ligada à disponibilidade hídrica e à temperatura do solo. Ao cessar a deficiência hídrica, ocorre elevado gasto de energia para a formação de novas raízes, que será

maior de acordo com o tempo de exposição a essa deficiência, impactando também na produtividade final.

Desta maneira, observou-se que os tratamentos 50 e 75% de palhada atenuaram os efeitos de estiagem ocorridos durante o ciclo, resultando em maior produtividade, visto que um dos principais benefícios da cobertura do solo, é proporcionar maior retenção e infiltração de água, que favorece todo o ciclo hidrológico e de nutrientes. Oliveira et al. (2003) ressaltam que o plantio sob palhada proporciona redução na perda de água do solo de, aproximadamente, 70% e redução na temperatura média da camada superficial do solo, além de aumento na matéria orgânica, favorecendo não só a maior estruturação do solo e o aumento da microbiota, como também a maior produtividade da cultura.

Esses resultados são confirmados por Aquino e Medina (2014), que avaliaram a produtividade de cana-planta (variedade SP 801816) sob diferentes quantidades de palhada, em Latossolo Vermelho eutrófico. Durante o ciclo, em que ocorreu severa deficiência hídrica nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura, chegando a alcançar 200 mm negativos, verificaram que os tratamentos com 50, 75 e 100% de palhada atenuaram os efeitos de insuficiência de precipitação e proporcionaram aumento de 25% na produtividade média, em relação a cana queimada, com 0 ou 25% de palhada sobre o solo. Durante a primeira soqueira, quando também ocorreu deficiência hídrica até os 210 DAC, Aquino et al. (2013) verificaram que os tratamentos 50 e 75% de palhada proporcionaram produtividade 43% maior que cana-queimada. Já na segunda soqueira, em que houve excesso hídrico até os 210 DAC, não verificaram diferença significativa entre os tratamentos, concluindo que, nesse último período, as condições climáticas favoreceram o suprimento hídrico até mesmo no solo descoberto, não permitindo que a maior disponibilidade hídrica proporcionada pela palhada em superfície, fosse evidenciada.

Resende et al. (2006) avaliaram os efeitos, após 16 anos, da cana-de-açúcar colhida com queima e sob palhada. Observaram que a manutenção da palhada no sistema proporcionou 15% a mais na produção de colmos, nas soqueiras avaliadas de 1988 a 1992. Ao considerar as soqueiras de 1992 a 1999 (quando realizou a renovação do canavial), estes valores chegaram a 59% e, ao longo das 12 soqueiras colhidas, a 28%, corroborando com os resultados obtidos nesse trabalho.

Esses dados mostram que a presença da palhada tem influência significativa no sistema de cultivo, podendo refletir já em curto prazo na produtividade final.

Ball-Coelho et al. (1993) afirmam que em regiões canavieiras do Brasil e do mundo, onde a precipitação pluvial é pequena ou irregular, a presença da palhada sobre o solo tem contribuído para elevar a produtividade da cana-de-açúcar, concordando com Costa et al. (2014).

Entretanto, há autores que observaram menor produtividade final com a manutenção de 100% de palhada sobre o solo (Campos et al., 2008, 2010). É importante salientar que os resultados negativos da palhada, descritos na literatura, foram avaliados em quantidade total (de 100%), não sendo possível saber se esse mesmo efeito seria obtido em quantidades menores de palhada.

No presente trabalho, observou-se que a quantidade 50% de palhada foi suficiente para promover melhorias na produtividade da cultura, podendo ser empregado o restante da palhada excedente em outros setores da indústria, maximizando o aproveitamento energético advindo da cultura, sem prejuízos à sustentabilidade do sistema de cultivo.

Resende et al. (2006), ratificam essas informações e salientam que a manutenção da palhada no sistema é essencial para a produtividade da cultura, a sustentabilidade do sistema e a produção de açúcar a longo prazo.

## 6.4 CONCLUSÕES

1. A manutenção de palhada em superfície não afeta a qualidade industrial.
2. A mudança do sistema de colheita de cana queimada para cana sob palhada não altera a qualidade do caldo e proporciona melhoria na produtividade final, após 4 anos de cultivo.
3. 50% ( $10 \text{ t ha}^{-1}$ ) de palhada são suficientes para proporcionar aumento de produtividade, em condições de deficiência hídrica
4. Pode-se retirar os 50% de palhada excedente do campo para os processos industriais sem que ocorram prejuízos à produtividade da cultura.

## 6.5 AGRADECIMENTOS

À PETROBRÁS pelo financiamento do trabalho. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudo. À Usina de Bandeirantes pela cessão da área experimental e apoio técnico nas avaliações.

## 7. CONCLUSÕES GERAIS

1. A mudança do sistema de colheita de cana queimada para cana sob palhada mantém a qualidade do caldo e beneficia a produtividade e o sistema radicular.
2. A manutenção de palhada em superfície proporcionou benefícios ao desenvolvimento da cultura, após 4 anos de cultivo.
3. A colheita com cana queimada, a retirada total ou a manutenção de 25% da palhada resultam em menor produtividade, em condições de precipitação insuficiente.
4. A manutenção de 50% da palhada ( $10 \text{ t ha}^{-1}$ ) em superfície é suficiente para proporcionar maior produtividade, sendo possível remover os 50% excedente do campo para os processos industriais de obtenção de energia, sem que ocorram prejuízos à produtividade da cultura.
5. A manutenção de palhada em superfície não afeta a qualidade industrial, embora a maior produção de açúcar tenha sido favorecida pela maior produção de colmos.
6. Em condições de precipitação adequada, a palhada não influencia no sistema radicular e na produtividade da cultura, a curto prazo.
7. A profundidade efetiva a 0,45 e 0,70 m de distância da touceira é de 0,18 m na primeira soqueira. Na segunda soqueira, é de 0,21 e 0,19 m, respectivamente, para 0,45 e 0,70 m de distância da touceira.

## REFERÊNCIAS

- ABRAMO FILHO, J. et al. Resíduo de cana crua. **Açúcar e Álcool**, v. 13, n. 67, p. 23-25, 1993.
- AGUIAR, S.F. **Observações sobre sistema radicular de cana planta (Saccharum spp)**. Jaboticabal: UNESP, Faculdade de Ciências Agrária e Veterinárias, 1978. 24 p.
- ALVAREZ, I.A.; CASTRO, P.R.C.; NOGUEIRA, M.C.S. Crescimento de raízes de cana crua e queimada em dois ciclos. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 57, n. 4, p. 653-659, 2000.
- ALVAREZ, I. A. Comparação entre o desenvolvimento de cana crua e cana queimada em dois ciclos de crescimento. 1998. 116 p. **Dissertação** (Mestrado) Piracicaba: Esalq, 1998.
- ALVAREZ, I. A.; CASTRO, P. R.C. Crescimento da parte aérea de cana crua e queimada. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 1069-1079, 1999.
- AQUINO, G. S.; MEDINA, C. C. Produtividade e índices biométricos e fisiológicos de cana-de-açúcar cultivada sob diferentes quantidades de palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 3, 173-180, 2014.
- AQUINO, G. S. et al. Qualidade industrial e produção de cana-de-açúcar sob quantidades de palhada. In: VI Simpósio Tecnologia de Produção de Cana-de-Açúcar, Esalq, Piracicaba, 2013. **Anais...**Piracicaba, 2013.
- AQUINO, G. S. Desenvolvimento e produção da cana-de-açúcar em sistema sob palhada. 2012. 84 p. **Dissertação** (Mestrado) – Londrina: Universidade Estadual, 2012.
- AZEVEDO, M. C. B. Efeito de três sistemas de manejo físico do solo no enraizamento e na produção de cana-de-açúcar. 2008. 101 p. **Tese** (Doutorado) Londrina: UEL, 2008.
- AZEVEDO, M. C. B.; CHOPART, J. L.; MEDINA, C. C. Sugarcane root length density and distribution from root intersection counting on a trench-profile. **Scientia Agrícola** (Piracicaba, Braz.), Piracicaba, v. 68, n. 1, p. 94-101, 2011.
- BALL-COELHO, B. et al. Residue management effects on sugarcane yield and soil properties in Northeastern Brazil. **Agronomy Journal**, v. 85, p. 1004-1008, 1993.
- BEAUCLAIR, E.G.F.; 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: Riplil, T. C. C. p. 65-73, 2007.

BRAUNBECK, O. A.; MAGALHÃES, P. S. G. Avaliação tecnológica da mecanização da cana-de-açúcar. In: CORTEZ, L. A. B. **Bioetanol de cana-de-açúcar**. 1 ed. São Paulo: Blucher, 2010. p.451-475.

BUZOLIN, P.R.S. Efeitos da palha residual da colheita mecanizada, associada a fontes de potássio e doses de nitrogênio, no solo e nas socas de cana-de-açúcar. 1997. 89 p. **Dissertação** (Mestrado). Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, 1997.

CÂMARA, G. M. S. Ecofisiologia da cultura da cana-de-açúcar. In: CÂMARA, G.M.S.; OLIVEIRA, E.A.M. **Produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: FEALQ, 1993. p. 31-64.

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

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. SAFRA 2014/15. Disponível em [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14\\_12\\_19\\_09\\_02\\_49\\_boletim\\_cana\\_portugues\\_-\\_3o\\_lev\\_-\\_2014-15.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_12_19_09_02_49_boletim_cana_portugues_-_3o_lev_-_2014-15.pdf). Acesso em 04 de fevereiro de 2015.

CTBE (Centro de Ciência e Tecnologia do Bioetanol). **Pesquisa de bioetanol ganha impulso com centro de pesquisa**. Disponível em: [http://www.cgee.org.br/comunicacao/exibir\\_clipping.php?chave=55](http://www.cgee.org.br/comunicacao/exibir_clipping.php?chave=55). Acesso em: 22 set. 2014

CAMPANHÃO, J.L. Manejo da soqueira da cana-de-açúcar submetida à queima acidental da palhada remanescente da colheita mecanizada, 76 p. **Dissertação** (Mestrado). Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, 2003.

CAMPOS, L. H. F. et al. Crescimento e produtividade da cana-de-açúcar (Var. SP83-2847) submetida a três manejos da palhada. **STAB: açúcar, álcool e subprodutos**, v. 26, n. 6, p. 33-36, 2008.

CAMPOS, L. H. F. Sistemas de manejo da palhada influenciam acúmulo de biomassa e produtividade da cana-de-açúcar (var. RB855453). **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 32, n. 2, p. 345-350, 2010.

CAMPOS, M.S; MARCONATO, A. Sistema cana crua x sistema cana queimada. CLASS 2000. **STAB: açúcar, álcool e subprodutos**. Piracicaba, v.12, n. 13, p. 10-17, 1994.

CANELLAS, L. P. et al. Propriedades químicas de um cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhicho e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.935-944, 2003.

CAVENAGHI, A. L. et al. Dinâmica do herbicida amicarbazone (Dinamic) aplicado sobre palha de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). **Planta Daninha**, v. 25, n. 4, p. 831-837, 2007

CEISE - CENTRO NACIONAL DAS INDÚSTRIAS DO SETOR SUCROENERGÉTICO E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Usinas podem produzir novos**

**1.000 MW/ano de bioeletricidade.** Disponível em: <http://www.ceisebr.com/site/index.php/conteudo/visualizar/usinas-podem-produzir-novos-1.000-mwano-de-bioeletricidade> Acesso em: 05 Nov. 2014.

CHRISTOFFOLETI, P. J. et al. Conservation of natural resources in Brazilian agriculture: implications on weed biology and management. **Crop Protection**, v. 26, n. 3, p. 383-389, 2007.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar.** Segundo Levantamento, agosto/2014, Brasília: CONAB, 2015. 18 p.

CONSECANA. **Manual de instruções.** 4. ed. Piracicaba, 2003. 115 p.

COSTA, L. G. et al. Simulação do efeito do manejo da palha e do nitrogênio na produtividade da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 5, p. 469-474, 2014.

COSTA, C. T. S et al. Crescimento e produtividade de quatro variedades de cana-de-açúcar no quarto ciclo de cultivo. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 3, p. 56-63, 2011.

COSTA, M. C. G et al. Distribuição radicular, estado nutricional e produção de colmos e de açúcar em soqueiras de dois cultivares de cana-de-açúcar em solos distintos (1). **Revista Brasileira Ciências do Solo**, v.31. p.1503-1514, 2007.

DANTAS NETO, J. et al. Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.2, p.283-288, 2006.

DAWSON, L.; BOOPATHY, R. Use of post-harvest sugarcane residue for ethanol production. **Bioresource Technology**, v. 98, p. 1695-1699, 2007.

DIAS, F.L.F. Relação entre produtividade, clima, solos e variedades de cana-de-açúcar, na região noroeste do Estado de São Paulo. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1997. 61p. **Tese (Mestrado)**

DILLEWIJN, C. van. Botany of sugarcane. Waltham: **Chronica Botanica**, 1952. 371 p.

EMBRAPA (1). **Desempenho do setor sucroalcooleiro.** Disponível em [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Desempenho\\_setor\\_sucroalcooleiro\\_000fl13u81y02wyiv80isprrhq47k6p.pdf](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Desempenho_setor_sucroalcooleiro_000fl13u81y02wyiv80isprrhq47k6p.pdf). Acesso em: 08 de junho de 2013a.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 3.ed. Brasília, 2013b. 353p.

FAPESP. **The impact of tillage and harvest practices on soil CO<sub>2</sub> emission of sugarcane production areas, southern Brazil.** Disponível em: [http://www.fapesp.br/pfpmcg/pfpmcg\\_scala.pdf](http://www.fapesp.br/pfpmcg/pfpmcg_scala.pdf). Acessado em: 10 ago. 2013.

FARIAS, C. H. A et al. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.4, p.356-362, 2008.

- FARONI, C.E. Sistema radicular de cana-de-açúcar e identificação de raízes metabolicamente ativas. 2005. 68p. **Dissertação** (Mestrado) Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2005.
- FRANCHINI, J. C et al. Rapid transformations of plant water-soluble organic compounds in relation to cation mobilization in an acid Oxisol. **Plant Soil**, 231:55-63, 2001.
- FELIPE, M. G. A. A qualidade da matéria-prima na produção de etanol de cana-de-açúcar. In: CORTEZ, L. A. B. **Bioetanol de cana-de-açúcar**. 1 ed. São Paulo: Blucher, 2010. p.552-559.
- FERNANDES, A.C. Cálculos na Agroindústria da cana de açúcar. Piracicaba, **STAB: açúcar, álcool e subprodutos**, 2000, 193p.
- FIGUEIREDO, P.A M et al,. Rendimentos de colmos e açúcar e decomposição dos restos culturais da colheita mecanizada de cana crua, variedade SP80-1842, segunda soca, em função da aplicação da vinhaça, complementação nitrogenada e biológica. In: Congresso Nacional da Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros Do Brasil - STAB, 8, Recife, 2002. **Anais...** Recife: STAB, 2002, p. 611-616.
- FRACARO, J. Análise histórica do Proálcool e atuais perspectivas do setor alcooleiro no Brasil. Maringá, 2005. 67 f. **Monografia** (Graduação em Ciências Econômicas), Universidade Estadual de Maringá.
- FREITAS, P. S. L. et al. Efeito da cobertura de resíduo da cultura do milho na evaporação da água do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, n.1, p.85-91, 2004.
- GARCIA, J. F. G et al. Feeding site of the spittlebug *Mahanarva imbricata* (STAL)(Hemiptera: Cercopidae) on sugarcane. **Scientia Agrícola**, v. 64, n. 5, p. 555-557, 2007.
- GASCHO, G. J.; SHIH, S. F. Sugarcane. In: TEARE, I. D.; PEET, M. M. (Ed.). water relations. **Crop-water relations**. New York: Wiley-Interscience, 1983. p. 445-479
- GAVA, G.J.C et al. Crescimento e acúmulo de nitrogênio em cana-de-açúcar cultivada em solo coberto com palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 11, p. 1347-1354, 2001.
- GAVA, G.J.C.et al. Recuperação do nitrogênio (<sup>15</sup>N) da uréia e da palhada por soqueira de cana-de-açúcar (*saccharum spp.*), **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v.27, p.621-630, 2003.
- GUIMARÃES, E. R et al. Free proline accumulation in sugarcane under water restriction and spittlebug infestation. **Scientia Agrícola**, v. 65, n. 6, p. 628-633, 2008.
- HERMANN, E.R.; G.M.S. CÂMARA. Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar. **STAB**, 17: 32-34, 1999.

- LANDELL, M. G. de A.; BRESSIANI, J. A.; Melhoramento Genético, Caracterização e Manejo Varietal. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. de A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico. 2008. p.101 – 156.
- LIMA, M. A. P.; NATALENSE, A. P. P. **Necessidade de pesquisa básica para cana e etanol**. In: CORTEZ, L. A. B. Bioetanol de cana-de-açúcar. 1 ed. São Paulo: Blusher, 2010. p. 150-170.
- LUCCHESI, A.A. **Cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.)**. In: CASTRO, P.R.C.; KLUGE, R.A. Ecofisiologia de culturas extrativas: cana-de-açúcar; seringueira; coqueiro; dendezeiro e oliveira. Cosmópolis: Stoller do Brasil, 2001. p. 13-45.
- MACEDO, I.C. **A produção de etanol carburante e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo**. Disponível em: <http://www.ufpe.br/sinaferm2005/download>. Acesso em: 05 de Novembro de 2014.
- MACHADO, E.C et al. Índices biométricos de duas variedades de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 17: 1323-1329. 1982.
- MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação da cana-de-açúcar**. Piracicaba: ULTRAFÉRTIL, 1982. 80p.
- MANECHINI, C. Manejo agrônomo da cana crua. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA – COPERSUCAR, 7, 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Copersucar. 1997. p.307-327.
- MARIANI FILHO, L. Utilização da palha de cana-de-açúcar para aumento da capacidade energética de plantas de utilidades. 2006. 58 p. **Monografia**. São Paulo: USP, 2006.
- MARTINS, D. et al. Emergência em campo de dicotiledôneas infestantes em solo coberto com palha de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v. 17, n. 1, p. 151-161, 1999.
- MEDINA, C. C. Estudo da aplicação de gesso, calcário e vinhaça na produção e enraizamento da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp). 1993. 175 p. **Tese** (Doutorado em Agronomia) Botucatu: UNESP, 1993.
- MEDINA, C. C et al. Crescimento radicular e produtividade de cana-de-açúcar em função de doses de vinhaça em fertirrigação. **Semina: ciências agrárias**, Londrina, v. 23, n. 2, p. 179-184, 2002.
- MELLO-IVO, W.M.P. et al. Produção de palhada da cana-de-açúcar, em áreas de colheita de cana crua e queimada nos tabuleiros costeiros de Alagoas. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E ÁGUA, 16. Aracaju, SE. **Anais**. Aracaju, SE: SBCS, 2006. CD-ROM.
- MENDOZA, H. N. S et al. Propriedades químicas e biológicas de solo de tabuleiro cultivado com cana-de-açúcar com e sem queima da palhada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 1, p. 201-207, 2000.
- NASSIF, D. S.; MARIN, F. R.; COSTA, L. G. Padrões mínimos para coleta de dados experimentais para estudos sobre crescimento e desenvolvimento da cultura da

cana-de-açúcar. Campinas: **Embrapa Informática Agropecuária**, 2013. 28 p. (Embrapa Informática Agropecuária, Documentos, 127).

OLIVEIRA, R.A. et al. Área foliar em três cultivares de cana-de-açúcar e sua correlação com a produção de biomassa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 2, p. 71-76, 2007.

OLIVEIRA, M. W. et al. Matéria seca e nutrientes na palhada de dez variedades de cana-de-açúcar. **STAB: açúcar, álcool e subprodutos**, Piracicaba, Vol. 21, nº 3, p. 30-31, 2003.

OLIVEIRA, O.C.; URQUIAGA, S.S.; BODDEY, R.M. La quema de la caña: efectos a largo plazo. **International Sugar Journal**, v.97, p.384-387, 1995.

ORLANDO FILHO et al. Efeitos do sistema de despalha (cana crua x cana queimada) sobre algumas propriedades do solo. **STAB: açúcar, álcool e subprodutos**, Piracicaba, v. 16, n. 6, p. 30-33, jul./ago. 1998.

PANOSSO A. R et al. Soil CO<sub>2</sub> emission and its relation to soil properties in sugarcane areas under Slash-and-burn and green harvest. **Soil Till Res.** v.111, p.190-196, 2011.

PESSATE, A. C. Efeitos do manejo da palha no rendimento da soqueira e na qualidade da cana-de-açúcar. 2009. 27p. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

RAMESH, P. Effect of different levels of drought during the formative phase on growth parameters and its relationship with dry matter accumulation in sugarcane. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 185, n. 2, p. 83-89, 2000.

RESENDE, A. S. et al. Efeito da queima da palhada da cana-de-açúcar e de aplicações de vinhaça e adubo nitrogenado em características tecnológicas da cultura. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.30, p. 937-941, 2006.

RIPOLI, T. C. et al. Energy potential of sugarcane biomass in Brasil. **Scientia Agricola**, v. 57, n. 4, p. 677-681, 2000.

RIPOLI, T.C. et al. Potencial energetico de residuos de cosecha de la caña verde. **STAB: açúcar, álcool e subprodutos**, v. 10, n. 1, p. 22-28, 1991.

ROZEFF, N. Harvest comparisons of green andburned sugarcane in Texas. **International Sugar Journal**, v.97, p.501-506, 1995.

SANTIN, T. A evolução da produção da cana-de-açúcar e do álcool combustível na região sudeste do Brasil de 1975 à 2005. Maringá, 2006. 79 f. **Monografia** (Graduação em Ciências Econômicas), Universidade Estadual de Maringá.

SILVA, G. M. A. Cana crua x cana queimada. Restrições técnicas e implicações sociais e econômicas. In: SEMANA DA CANA-DE-AÇÚCAR DE PIRACICABA, 2. 1997, Piracicaba, **Resumos...** Piracicaba: FEALQ, 1997. p.55-57.

SOARES, R. A. B et al. Efeito da irrigação sobre o desenvolvimento e a

produtividade de duas variedades de cana-de-açúcar colhidas em início de safra. **STAB: açúcar, álcool e subprodutos**, v.22, n.4, p.38-41, 2004.

SOUZA, Z. M. et al. Manejo de palhada de cana colhida sem queima, produtividade do canavial e qualidade do caldo. **Ciência Rural**, v.35, n. 5, p. 1062-1068, 2005a.

SOUZA, Z. M et al. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 3, p. 271-278, 2005b.

SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E. Adubação com nitrogênio. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E., eds. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2.ed. Planaltina, Embrapa Cerrados, 2004. p.129-144.

SMITH, D.M.; INMAN-BAMBER, N.G.; THORBURN, P.J. Growth and function of the sugarcane root system. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, p. 169-183, 2005.

SUNG, Y.; CHENG, J. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. **Bioresource Technology**, v. 83, p.1-11, 2002.

TAVARES, O. C. H.; LIMA, E.; ZONTA, E. Crescimento e produtividade da cana-planta cultivada em diferentes sistemas de preparo do solo e de colheita. **Acta Scientiarum**, v.32, n.1, p. 61-68, 2010.

TIMM, LUÍS CARLOS. Efeito do manejo da palha da cana-de-açúcar nas propriedades físico-hídricas de um solo. Piracicaba, 115 p. **Tese** (doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2002.

TOMÉ JÚNIOR, J.B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba: Agropecuária, 1997. 247p.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance. Publications in Climatology**. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 104p. 1955.

UNICA. **Sustentabilidade São Paulo fecha safra 2013/2014 com colheita mecanizada em 83% dos canaviais**. Disponível em: <http://www.unica.com.br/noticia/6551584920310621254/sao-paulo-fecha-safra-2013-por-cento2F2014-com-colheita-mecanizada-em-83-por-cento-dos-canaviais/>. Acesso em: 10 de dezembro de 2014.

UNICA. **Sustentabilidade**. Disponível em: <http://www.unica.com.br/noticias/show.asp?nwsCode={5780707A-57AE-40F0-B180-C324A69D45B1}> Acesso em: 18 mai. 2013a

UNICA. **Histórico de área**. Disponível em: <http://www.unicadata.com.br/historico-de-area-ibge.php?idMn=33&tipoHistorico=5&acao=visualizar&idTabela=1522&produto=%C3%81rea+Plantada&anoIni=2012&anoFim=2012&estado=RS%2CSC%2CPR%2CSP%2CRJ%2CMG%2CES%2CMS%2CMT%2CGO%2CDF%2CBA%2CSE%2CAL%2CPE%2CPB%2CRN%2CCE%2CPI%2CMA%2CTO%2CPA%2CAP%2CRO%2CAM%2CAC%2CRR>. Acesso em: 10 de março de 2013b.

VASCONCELOS, A. C. M.; GARCIA, J. C. Desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar. Cana-de-açúcar: ambientes de produção. Encarte técnico POTAFOS – **Informações técnicas**, Piracicaba, n.110, 2005. 32p.

VASCONCELOS, A.C.M. Desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea de socas de cana-de-açúcar sob dois sistemas de colheita: crua mecanizada e queimada manual. 2002. 140 p. **Tese** (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2002.

VELINI, E.D.; NEGRISOLI, E. Controle de plantas daninhas em cana crua. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 22, 2000, Foz do Iguaçu. **Anais...** Londrina: SBCPD, 2000. p. 148-165.

ZONTA, E. et al. sistema radicular e suas interações com o ambiente edáfico. In: FERNANDES, M.S. (Ed) **Nutrição mineral das plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.7-52.

WATANABE, R. T.; FIORETTO, R. A.; HERMANN, E. R. Propriedades químicas do solo e produtividade da cana-de-açúcar em função da adição da palhada de colheita, calcário e vinhaça em superfície (sem mobilização). **Semina: ciências agrárias**, v.25, n.2, p. 93-100, 2004.

WOOD, A.W. Management of crops residues following green harvesting of sugarcane in north Queensland. **Soil & Till. Research.**, v.20, p. 69-85, 1991.