

# A COLHEITA DA CANA QUEIMADA E RELÃO COM O MEIO AMBIENTE

Tadeu Alcides Marques\*  
Carlos Guilherme Sasso\*\*

**RESUMO:** A queima do canavial promove alterações no solo, nas plantas e na atmosfera. A quantificação destas mudanças é de extrema importância ambiental e torna-se objeto principal do estudo. Amostras do solo e da planta foram realizadas antes e após a queima, para áreas padronizadas. Foi estimada a emissão de CO<sub>2</sub> emitido pela queima. Os dados foram submetidos à uma análise multivariada e ANOVA, ( $p < 0,05$ ) e ao teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). A análise multivariada mostrou uma separação entre as variáveis obtidas antes e após a queima. Com relação à comparação da pré e da pós-queima, as variáveis de biomassa apresentaram diferenças estatísticas. O CO<sub>2</sub> emitido pela queima das folhas foi de 3,89 Mg ha<sup>-1</sup> e devido a queima dos ponteiros mais 0,92 Mg ha<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> foram lançadas na atmosfera, totalizando 4,81 Mg ha<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> totais. Nos dados de matéria orgânica (MO), Mn, Cu e B do solo apresentaram alterações devido a queima. Concluiu-se que a queimada promove redução de folhas, ponteiros e colmos em 92,48%, 33,52% e 30,70%, respectivamente. No solo ocorreu alteração da matéria orgânica (16,19%), Mn em 21,04%, de Cu 19,32% e B 30,56%.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cana-de-Açúcar; Queimada; CO<sub>2</sub>; *Saccharum*.

## HARVESTING BURNT SUGARCANE AND ITS RELATIONSHIPS WITH THE ENVIRONMENT

**ABSTRACT:** The burning of sugarcane plants causes changes in soil, plants and atmosphere. The measurement of changes, provided by current research, is

---

\* Engenheiro Agrônomo; Doutor em Tecnologia de Alimentos; Docente do curso de Agronomia da Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE. E-mail: tmarques@unoeste.br; tmarques@uol.com.br

\*\* Biólogo; Mestre em Agronomia pela Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE. E-mail:

of great environmental importance. Soil and plant samples were obtained before and after burning for standardized areas. CO<sub>2</sub> emissions through burning have been estimated. Data underwent multivariate analysis and ANOVA ( $p < 0.05$ ) and Tukey's test ( $p < 0.05$ ). Multivariate analysis revealed distinctions between variables obtained before and after burning. Significant statistical differences were obtained when pre- and post-combustion biomass variables were compared. CO<sub>2</sub> emitted by leaf burning amounted to 3.89 Mg ha<sup>-1</sup>. Moreover, more than 0.92 Mg ha<sup>-1</sup> of CO<sub>2</sub> were released into the atmosphere, amounting to 4.81 Mg ha<sup>-1</sup> of total CO<sub>2</sub> due to the burning of leaf tips. Data on organic matter (OM), Mn, Cu and B of soil revealed burning-caused modifications. Burning causes decrease of leaf, tips and stems respectively at the rate of 92.48%, 33.52% and 30.70%. Changes also occurred in the soil's organic matter (16.19%), in Mn (21.04%), in Cu (19.32%) and in B (30.56%).

**KEYWORDS:** Sugarcane; Burning; CO<sub>2</sub>; *Saccharum*.

## INTRODUÇÃO

O aumento da área plantada com cana-de-açúcar é uma realidade no Brasil de 2010, devido principalmente ao preço atrativo do açúcar no mercado internacional e a busca pelo combustível renovável (etanol), contudo esta expansão deve seguir os preceitos de sustentabilidade, respeitando o meio ambiente. A produção brasileira de cana-de-açúcar em 2009 foi de 612,2 milhões de toneladas cultivados em 7,5 milhões de hectares. Esse volume supera em 7,1% a colheita anterior e ainda estima-se que 20 milhões de toneladas ficaram no campo devido ao excesso de chuva. A região Centro-Sul é responsável por 85,6% da colheita no País e em São Paulo espera-se 354,4 milhões toneladas em uma área de 4,1 milhões de hectares (BRASIL, 2010).

A queima do canavial antes da colheita é uma prática usual no Brasil, pois facilita o corte manual evitando que as palhas secas e as folhas verdes atrapalhem a operação, eliminando também animais vertebrados e insetos, que poderiam comprometer o bem estar do cortador (DELGADO; CESAR, 1977). Contudo, esta prática conflita com a necessidade de um ambiente limpo e a saudável, sendo desafiador a produção de biocombustível etanol associado com novas tecnologias na cadeia canvieira, como plásticos biodegradáveis, levedura seca para alimentação humana e animal e assim sendo reduzir-se a utilização dos combustíveis fósseis (ORTOLAN, 2006).

A cana-de-açúcar é, em si mesma, uma usina de enorme eficiência, pois cada tonelada tem um potencial energético equivalente ao de 1,2 barris de petróleo.

São as usinas e destilarias que processam a biomassa proveniente da cana-de-açúcar e que alimentam um círculo virtuoso, pois produzem açúcar como alimento, energia elétrica vinda da queima do bagaço nas caldeiras, álcool hidratado para movimentar veículos e álcool anidro para melhorar o desempenho energético e ambiental da gasolina. Tem-se ainda que a cana-de-açúcar origina, como subprodutos, a torta de filtro, sobras de bagaço, fermento (levedura), vinhaça, palha, cinzas da caldeira, CO<sub>2</sub> e melaço. (MARQUES; MARQUES; TASSO JR, 2001; CANÇADO, 2003; RIPOLI; RIPOLI, 2004).

Os processos de avaliação de impacto ambiental (AIA) surgiram durante o pós-guerra nos Estados Unidos e Europa, para subsidiar a tomada de decisões, dentro da sistemática de análise de “custo-benefício”, nos programas de desenvolvimento. Por essas razões, tecnicamente e cientificamente, entende-se por impacto ambiental a soma dos impactos ecológicos e dos impactos sócio-econômicos (ZANCUL, 1998). A cana-de-açúcar é responsável por cerca de 98% das emissões de gases provenientes de resíduos agrícolas no Brasil (LIMA et al., 1999). A queimada do canavial, segundo Campos (2003), usada para facilitar o corte manual da cana-de-açúcar, libera para atmosfera grandes quantidades dos gases CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub>, que contribuem para o efeito estufa e chuva ácida. Estes são uns dos problemas ambientais mais sérios da atualidade. A adoção do sistema sem queima prévia do canavial torna positivo o balanço do CO<sub>2</sub>, uma vez que o carbono que seria emitido imediatamente durante a queimada, pode permanecer no sistema e ser incorporado ao solo, favorecendo os microrganismos, reduzindo assim o impacto ambiental.

Nesse sentido, a colheita mecanizada da cana-de-açúcar representa um potencial mitigador das emissões de gases, pois o carbono, que seria emitido na queima do canavial, ficaria retido na palhada e no solo, permitindo que a cultura que ocupava 5,2 milhões de hectares em 2003 no Brasil, possa contribuir para a diminuição do efeito estufa (CAMPOS, 2003).

As temperaturas do ar e do solo são variáveis importantes do agroecossistema. No caso da cana-de-açúcar, elas afetam o desenvolvimento da planta, a maturação e uma série de processos fisiológicos, bem como processos químicos do solo. Com a queimada da cana-de-açúcar, o solo sofre um aquecimento considerável, destruindo toda a matéria orgânica superficial, deixando-o exposto ao impacto das chuvas. Durante a queima de um canavial, a temperatura chega à cerca de 160 a 200 °C nas camadas mais superficiais, o que ocasiona no solo a perda por volatilização de nutrientes essenciais para o desenvolvimento da cana-de-açúcar, como o P, S e o N.

Segundo Ripoli e Ripoli (2004), no que diz respeito ao efeito da temperatura de queima sobre o solo, os dados demonstraram que a atividade microbológica, em solos com cana-de-açúcar, não é afetada diretamente pela queima, ou seja,

pela ação das altas temperaturas. A prática de queima do palhiço, ano após ano, concorre para redução do teor de matéria orgânica e assim, indiretamente, tem afetado a microbiota do solo e, além disso, nutrientes como N é todo perdido pela volatilização, enquanto que P, S tem suas frações diminuídas.

Para Matos (2002), freqüentemente as queimadas na cultura da cana-de-açúcar matam animais e plantas, promovendo o desequilíbrio ecológico e invadem áreas de nascentes circundadas por mata ciliar e durante a queima de canaviais, animais de diversas espécies como insetos, aves, répteis e mamíferos, não conseguem escapar do fogo e acabam morrendo queimados.

Conforme afirmam Reichardt e Timm (2004), a colheita da cana crua contribui de maneira eficiente para a melhoria da fertilidade do solo, uma vez que a produção da palhada corresponde de 10 a 30 Mg ha<sup>-1</sup> de matéria seca, sendo composta principalmente de nitrogênio e enxofre, que seriam lançados para a atmosfera, principalmente sob a forma de óxidos com a queima do canavial. Estes nutrientes passam a estar disponíveis para a planta após o ataque de microrganismos. Entretanto, segundo Ripoli e Ripoli (2004), do ponto de vista agrônômico, as máquinas colhedoras causam a compactação do solo e perda da matéria prima, além de serem grandes consumidoras de óleo diesel, chegando, em alguns lugares, ao consumo de meio quilometro por litro de diesel consumido.

Segundo Ripoli e Ripoli (2004) até o início da década de 50, os canaviais eram colhidos manualmente e sem queima prévia. Com a introdução de máquinas carregadoras e com o objetivo de aumentar a capacidade do corte manual, introduziu-se a queima, existente até os dias de hoje. Com o conhecimento dos problemas ambientais que essa prática ocasiona, algumas regiões canaveiras tem imposto legislação específica com o intuito de evitar ou permitir, sob certas condições, o uso do fogo em canaviais. Para o Estado de São Paulo a Lei que está prevalecendo é a n° 11.241 de 19/09/2004, assinada pelo então Governador Geraldo Alckmin, que relata:

- No ano de 2021, 100% da área que pode ser cortada mecanicamente terá a eliminação total da queima.
- No ano de 2031 100% toda a área canaveira do estado de São Paulo deverá ser colhida sem a prática da queimada.

Para a incorporação de máquinas colhedoras, é importante levar em consideração a topografia da região. Com a colheita mecanizada, a palhada formada por folhas secas, ponteiros e folhas verdes pode permanecer depositada no solo e agir de maneira positiva na proteção, conservação e recuperação do mesmo. Além disso, essa cobertura pode favorecer o aparecimento de um microclima nestas áreas, uma vez que não existirão alterações bruscas de temperatura e da umidade do solo. Esta condição pode favorecer o aparecimento de uma comu-

nidade biológica que atuará na decomposição da palhada e, assim, melhorando o aproveitamento dos nutrientes (CAMPOS, 2003).

Devido à versatilidade citada na cultura da cana-de-açúcar e a sua importância de ordem mundial, é importante conhecê-la de uma forma científica em diversos âmbitos, inclusive no âmbito técnico-ambiental, onde se verifica que a prática da colheita com queima, emite para o ar atmosférico grandes quantidades de gases que contribuem não só para o efeito estufa, mas também para a chuva ácida e a inversão térmica, que por sua vez são fenômenos responsáveis por problemas respiratórios nos moradores, principalmente de crianças, de cidades que apresentam grandes áreas com o plantio da cana-de-açúcar. No entanto, a substituição da força de trabalho manual pelas máquinas colhedoras de cana-de-açúcar tem aspectos opostos de avaliação, ou seja, enquanto pode provocar desemprego para uma classe de trabalhadores menos preparados, pode também proporcionar uma melhora ambiental e redução de poluição na cultura da cana-de-açúcar. Neste sentido, o presente trabalho visa avaliar se as mudanças que ocorrem no solo, na planta e na atmosfera após a prática da queimada são significativamente detectadas.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

A pesquisa foi realizada em áreas canavieiras na região noroeste do Estado do Paraná sendo padronizados os ambientes de produção, ou seja, o tipo de solo, o ano de corte, a variedade da cana-de-açúcar e os tratos culturais. As áreas escolhidas situam-se na fazenda Três Irmãos, pertencente ao município de Itaúna do Sul. O tamanho da área experimental foi de 99,4 ha, dividida em cinco talhões de 19,8 ha. Nestas áreas foram coletados os dados que originaram cinco amostras. Foram coletadas cinco amostras por talhão do solo com 0,2 m de profundidade, retiradas nas linhas de plantio, demarcadas com o GPS (Sistema de Posição Global), antes e após a queima, resultando em 50 amostras de solo no total.

Com o auxílio do GPS, foram anotadas as devidas coordenadas para que a coleta pós-queima fosse realizada no local em que foram extraídas as amostras anteriores à queima da área. A análise do solo foi realizada segundo Malavolta, Viti e Oliveira (1997).

A coleta da cana-de-açúcar foi efetuada em 25 pontos antes e depois da queima do canavial, sendo 5 pontos em cada talhão. Após a coleta, as canas foram picadas em um desintegrador forrageiro e embaladas em sacos plásticos e devidamente etiquetadas, para futura análise nos laboratórios da UNOESTE, segundo Fernandes (2003). Da mesma forma que na coleta das amostras de solo, também as áreas da coleta da cana-de-açúcar tiveram suas coordenadas devidamente

anotadas com a utilização de GPS para realização de nova amostragem após a queima do talhão,

Nas amostras de cana-de-açúcar foram analisados os teores de sólidos solúveis (Brix) e teor de matéria seca, particionada em folha, colmo e ponteiro. A quantidade de CO<sub>2</sub> emitida foi calculada segundo Ripoli e Ripoli (2004):

$$\frac{\Delta x * (1 - U) * C * 4}{1}$$

Sendo que  $\Delta x$  é a diferença de massa entre o material queimado e o não queimado, U é a umidade do material não queimado e C é o teor de carbono do material, sendo utilizados os valores estimados por Ripoli e Ripoli (2004), para folhas, ponteiros e colmos.

O experimento foi arranjado em blocos ao acaso, indicando os tratamentos (T<sub>1</sub>) sem queima e (T<sub>2</sub>) com queima, com cinco repetições (talhões). Todos os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA, p<0,05) e ao teste de comparação de médias Tukey (p<0,05), segundo Gomes (1990). Os dados foram também analisados pela técnica de análise multivariada por componentes principais (PCA), envolvendo todos os parâmetros considerados.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são mostrados os resultados das análises de matéria seca (MS) nas folhas, ponteiros, colmos, em quilogramas, e teor de Brix no pré e pós-queima. As variáveis, matéria seca (MS) de folhas, ponteiros, colmos, MS total e % de MS de folhas apresentaram diferenças estatísticas significativas (p<0,05). Entretanto, as variáveis % de MS de ponteiro e Brix corrigido não apresentaram diferenças (p>0,05) quando comparados os talhões antes e depois da queima.

**Tabela 1** Dados referentes à matéria seca (MS) nas folhas, ponteiros, colmos, em quilogramas, e teor de Brix no pré e pós-queima. Valores médios seguidos por diferentes letras sobre-escritas indicam diferenças estatísticas significativas pelo teste de Tukey (p<0,05).

Talhão	Folhas	Ponteiro	Colmos	Total	%Folhas	%Ponteiro	Brix <sub>corrigido</sub>
Pré-queima	50,84 <sup>A</sup>	191,88 <sup>A</sup>	480,12 <sup>A</sup>	722,84 <sup>A</sup>	7,13 <sup>A</sup>	27,80	20,72
Pós-queima	3,82 <sup>B</sup>	127,56 <sup>B</sup>	332,72 <sup>B</sup>	464,10 <sup>B</sup>	0,89 <sup>B</sup>	28,19	21,15
CV%	44,30	25,69	27,06	23,18	43,16	17,19	7,02

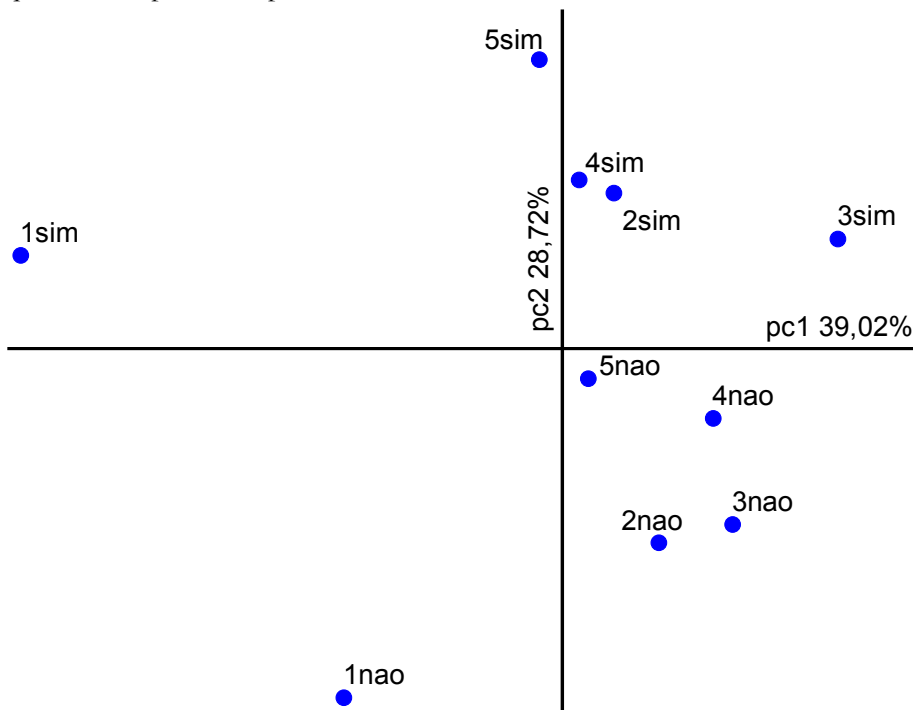
Com os dados da Tabela 1, pode-se calcular que a quantidade de CO<sub>2</sub> emitida pela queima das folhas foi de 3,89 Mg ha<sup>-1</sup>. Devido a queima dos ponteiros mais 0,92 Mg ha<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> foram lançadas na atmosfera, totalizando portanto, 4,81 Mg ha<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> total.

Na Tabela 2 pode-se observar que as variáveis, teor de matéria orgânica (MO), Mn, Cu e B apresentaram diferenças estatísticas quando comparados antes e após a queima. Enquanto o Mn, Cu e B tiveram seus teores reduzidos, a matéria orgânica do solo teve seus valores elevados, fato que inicialmente causou espanto, pois segundo Reichardt e Timm (2004) e Ripoli e Ripoli (2004) os teores de M.O. decrescem com a prática da queima. Talvez uma explicação para isso seja por meio do desprendimento de partículas das folhas e dos ponteiros que não queimaram integralmente, e portanto apresentam pesos mais elevados, vindo a serem depositadas na superfície do solo, fato que deve ser melhor elucidado em novos experimentos.

**Tabela 2** Apresentação dos dados referente o solo no pós e pré-queima. Valores médios seguidos por diferentes letras sobre-escritas indicam diferenças estatísticas significativas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). M.O.= Matéria orgânica; H+Al = Acidez Potencial; SB = Soma de bases; M% = Saturação por alumínio; CTC = Capacidade de troca catiônica; V% = Saturação por bases.

Variáveis	Unidades	Pré-queima	Pós-queima
M.O.	(g/dm <sup>3</sup> )	10,56 <sup>B</sup>	12,60 <sup>A</sup>
pH <sub>CaCl2</sub>	-	4,73	4,81
H+Al	(mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	20,08	20,32
Al	(mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	0,84	0,84
Ca	(mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	6,28	6,72
Mg	(mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	2,20	2,12
K	(mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	0,93	1,10
P	(mg/dm <sup>3</sup> )	2,08	2,76
SO <sub>4</sub>	(mg/dm <sup>3</sup> )	1,52	3,08
Mn	(mg/dm <sup>3</sup> )	53,94 <sup>A</sup>	42,59 <sup>B</sup>
Cu	(mg/dm <sup>3</sup> )	0,88 <sup>A</sup>	0,71 <sup>B</sup>
Zn	(mg/dm <sup>3</sup> )	1,16	1,90
B	(mg/dm <sup>3</sup> )	0,36 <sup>A</sup>	0,25 <sup>B</sup>
SB	(mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	9,44	10,04
M%	-	10,44	12,24
CTC	(mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	29,24	30,00
V%	-	31,16	31,52

De acordo com o resultado apresentado na Figura 1, da análise multivariada por componentes principais (PCA), o eixo pc1 (horizontal) foi responsável por 39,02% de toda análise. As variáveis que mais contribuíram para a separação dos talhões ao longo deste eixo foram os teores de cálcio (Ca), soma de bases (SB) e saturação por base (V%) caracterizando parâmetros de solo. Por outro lado, os parâmetros de biomassa (folha, ponteiro, colmo, total e %folhas) mostraram importância no pc2 (vertical), que representa 28,72% da variância total dos dados da análise. Dessa forma, os tratamentos pós-queima (sim) estão arranjados na parte superior do eixo pc1, ao contrário para os tratamentos pré-queima (não) que estão dispostos na parte inferior do eixo.



**Figura 1** Resultados da técnica de análise multivariada por componentes principais (PCA), envolvendo os parâmetros avaliados (sim – cana queimada, não – cana não queimada).

A cana-de-açúcar tem um grande apelo ambiental de produção (ORTOLAN, 2006; RIPOLI; RIPOLI, 2004) sendo cultivada em 6,2 milhões de hectares (BRASIL, 2006), emitindo 98% dos gases provenientes dos resíduos agrícolas no Brasil (LIMA, et al., 1999) e deste percentual uma boa parte, segundo Campos (2003), advém da queima do canavial, sendo que no presente ensaio detectou-se (Tabe-



la 1) reduções significativas de folhas (92,48%) e ponteiros (37,52%) e colmos (30,70%) após a queima, reduções esta que possibilitou estimar o total de 4,81 Mg ha<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> emitidos pela queimada da cana. Devido a esta queimada pôde-se detectar no solo diferenças estatísticas para M.O.(16,19%), Mn (21,04%), Co (19,32%) e B (30,56%), contudo a M.O. se elevou e os micronutrientes decresceram o que está em concordância com Reichardt e Timm (2004) que relata o lançamento para atmosfera de alguns nutrientes, contudo o mesmo autor relata que a palha da cana no solo melhora o teor de M.O. deste.

Na análise PCA (Figura 1), pôde-se observar que os resultados foram agrupados em quatro grupos, sendo que destes dois grupos foram de alta expressão, 40% dos resultados e destes grupos foram divididos pelo tratamento, ou seja, se a cana estava queimada ou não. É importante observar também que esta separação foi resultado da análise de PCA sobre a Biomassa.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo evidenciaram que de fato a queima da cana provoca mudanças significativas na composição química do solo, reduzindo principalmente os níveis de micronutrientes, com elevada emissão de carbono para a atmosfera.

#### REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - CONAB. **Campanha Nacional de Abastecimento**. Disponível em:<[www.conab.gov.br](http://www.conab.gov.br)>. Acesso em: 15 mar. 2010.

CAMPOS, D. C. **Potencialidade do sistema de colheita sem queima da cana-de-açúcar para o sequestro de carbono**. 2003. 103fls. Tese (Doutorado em Agronomia) - **Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo**, Piracicaba, 2003.

CANÇADO, J. E. D. **A poluição atmosférica e sua relação com a saúde humana na região canavieira de Piracicaba**. 2003. 162fls. Tese (Doutorado em Ciências) – Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

DELGADO, A.; CESAR, M. A. A. **Elementos de tecnologia e engenharia do**

**açúcar de cana.** São Paulo, SP: ESALQ; USP, 1977.

FERNANDES, A. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar.** 2. ed. Piracicaba, SP: EME, 2003.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental.** Piracicaba, SP: ESALQ, 1990.

LIMA, M. et al. **Emissão de gases de efeito estufa provenientes da queima de resíduos agrícolas no Brasil.** Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 1999. (Documento 07).

MARQUES, M. O.; MARQUES, T. A.; TASSO JR., L. C. **Tecnologia do açúcar, Produção e industrialização da cana-de-açúcar.** Jaboticabal, SP: Funep, 2001.

MALAVOLTA, E.; VITI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estudo nutricional das plantas: princípios e aplicações.** Metodologia para análise de elementos em material vegetal. Piracicaba, SP: ESALQ, 1997.

MATTOS, K. M. C. **Valoração econômica dos impactos causados pela queima de cana-de-açúcar no meio ambiente.** 2002. 125fls. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

ORTOLAN, M. C. A. Perspectiva para o setor sucroalcooleiro. In. MARQUES, M. O. et al. **Tópicos em tecnologia sucroalcooleiro.** Jaboticabal, SP: Gráfica Multipress, 2006. p. 7-16.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C.. **Solo, Planta e Atmosfera: conceitos, processos e aplicações.** Barueri, SP: Manole, 2004.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. **Biomassa de cana-de-açúcar: Colheita, energia e ambiente.** Piracicaba, SP: TCC Ripoli, 2004.

ZANCUL A. **O efeito da queimada de cana-de-açúcar na qualidade do ar na região de Araraquara.** 1998. 97fls. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

*Recebido em: 16 Março 2010*

*Aceito em: 07 Julho 2010*