

**UFRRJ**  
**INSTITUTO DE AGRONOMIA**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**  
**CIÊNCIA DO SOLO**

**TESE**

**Atributos Edáficos e Adubação Nitrogenada em  
Cana de Açúcar em Tabuleiros Costeiros:  
Respostas a Sistemas de Colheita com e sem  
Queima da Palhada**

**Ana Paula Pessim de Oliveira**

**2013**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
CIÊNCIA DO SOLO**

**ATRIBUTOS EDÁFICOS E ADUBAÇÃO NITROGENADA EM CANA  
DE AÇÚCAR EM TABULEIROS COSTEIROS: RESPOSTAS A  
SISTEMAS DE COLHEITA COM E SEM QUEIMA DA PALHADA**

**ANA PAULA PESSIM DE OLIVEIRA**

*Sob a orientação da Professora*

**Lúcia Helena Cunha dos Anjos**

*e Coorientação dos Professores*

**Eduardo Lima e Everaldo Zonta**

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo

Seropédica, RJ  
Fevereiro de 2013

633.61  
O48a  
T

Oliveira, Ana Paula Pessim de, 1981-  
Atributos edáficos e adubação nitrogenada em cana  
de açúcar em tabuleiros costeiros: respostas a sistemas  
de colheita com e sem queima da palhada / Ana Paula  
Pessim de Oliveira. – 2013.  
87 f.: il.

Orientador: Lúcia Helena Cunha dos Anjos.  
Tese (doutorado) – Universidade Federal Rural do  
Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em  
Agronomia, 2013.  
Bibliografia: f. 62-76.

1. Cana-de-açúcar – Cultivo – Teses. 2. Cana-de-  
açúcar – Adubos e fertilizantes - Teses. 3.  
Fertilizantes nitrogenados – Teses. 4. Palha –  
Utilização na agricultura – Teses. 5. Solos – Análise  
– Teses. 6. Queimada – Teses. I. Anjos, Lúcia  
Helena Cunha dos, 1957- II. Universidade Federal  
Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação  
em Agronomia. III. Título

É permitida a cópia parcial ou total desta Tese, desde que seja citada a fonte.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA - CIÊNCIA DO SOLO**

**ANA PAULA PESSIM DE OLIVEIRA**

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de Concentração em Ciência do Solo.

TESE APROVADA EM 27/02/2013

---

Eduardo Lima. Dr. UFRRJ  
(Co-Orientador)

---

Raffaella Rossetto. Dra. Apta-SP  
Secretaria de Agricultura e Abastecimento

---

Edelclaiton Daros. Dr. UFPR

---

Bruno José Rodrigues Alves. Dr. Embrapa  
Agrobiologia

---

Marcos Bacis Ceddia. Dr. UFRRJ

*Aos meus pais José Souza de Oliveira e Clarice Pessim de Oliveira, aos meus irmãos Adriana, José Roberto e Patrícia, aos meus sobrinhos Rayane, Ariane, Daniel, Emily, Ruan e Amanda e ao meu companheiro Roger Mejia*

*Dedico*

## AGRADECIMENTOS

A Deus pela presença constante em minha vida, fortalecendo-me para alcançar mais esta conquista.

Às instituições de ensino público que me proporcionaram estudo e qualificação profissional até o presente momento.

À Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo (CPGA-CS).

À Fundação CAPES, pela concessão de bolsas de estudos no Brasil e no exterior.

À instituição de pesquisa australiana CSIRO – Ecosystem Sciences pelo treinamento no modelo de simulação agrícola APSIM.

À FAPUR - Fundação de apoio à pesquisa da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

À Profa. Dra. Lúcia Helena C. dos Anjos e ao Prof. Dr. Eduardo Lima, pela orientação inestimável, a amizade, a atenção e a paciência prestadas na realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Everaldo Zonta, pela coorientação e atenção prestada à condução do experimento.

Ao Prof. Dr. Marcos Gervasio Pereira pela colaboração e incentivo que muito contribuíram para realização deste trabalho.

Aos Professores do CPGA-CS, pelos relevantes ensinamentos durante o curso.

À destilaria LASA, pela concessão da área para realização da pesquisa.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), INCAPER (Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural e ao Professor Mauro Homem Antunes (IT-UFRRJ) que ajudaram a obter os dados de clima.

Aos autores Érika Pinheiro, Luiz Antônio da Silva, Orlando C.H. Tavares e Eloisa S. Benazzi, por gentilmente fornecerem dados experimentais de suas teses e dissertações e ao Dr Geovane B. do Nascimento por fornecer dados de solo para o treinamento com o modelo APSIM-sugar.

Aos queridos amigos e funcionários Geraldo e Gilson do Campus Dr. Leonel Miranda pelo auxílio na instalação e condução deste trabalho.

Aos colegas bolsistas e estagiários que colaboraram com o trabalho duro no campo nas colheitas.

Aos funcionários Beth Freitas e José Carlos Morais sempre solícitos e pacientes, verdadeiros amigos.

A todos os funcionários do Departamento de Solos, em especial à Maria Helena, Pedro, Roberto, Vagner e Marcos.

Aos amigos de curso e demais alunos da graduação, pela colaboração e pelos agradáveis momentos, em especial Fabiano Prates, Nivaldo Schultz, Paula Fernanda Soares, Sidinei Beutler, Rafael Presoto, Fabio Freitas, Iara Maria Lopes.

Aos meus pais e irmãos pela ajuda durante esta caminhada, pelo apoio e incentivo, mesmo que distante, para a concretização deste sonho.

Enfim, a todos que contribuíram direta ou indiretamente para este trabalho e fizeram parte desta minha jornada.

MEU MUITÍSSIMO OBRIGADO!

## **BIOGRAFIA**

Ana Paula Pessim de Oliveira, nascida em 06 de março de 1981, em Cachoeiro do Itapemirim, Estado do Espírito Santo, filha de Clarice Pessim de Oliveira e José Souza de Oliveira. Ingressou na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro no 2º semestre do ano de 2000 no curso de Zootecnia, onde graduou-se em novembro de 2005. Foi bolsista de iniciação científica no período de fevereiro a julho de 2005, no laboratório de pesquisas em saúde equina. Em março de 2006, ingressou no Curso de Pós-Graduação em Zootecnia, concluindo o Mestrado em fevereiro de 2008. Em março de 2009 ingressou no Doutorado em Agronomia - Ciência do Solo. Realizou estágio doutoral no CSIRO, na Austrália no período de março a setembro de 2012.

## RESUMO GERAL

OLIVERA, Ana Paula Pessim. **Atributos edáficos e adubação nitrogenada em cana de açúcar em tabuleiros costeiros: respostas a sistemas de colheita com e sem queima da palhada.** 2013. 76f. Tese (Doutorado em Agronomia - Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2013.

Para avaliar o impacto do manejo da palhada sobre a qualidade do solo e produção de cana-de-açúcar na região dos Tabuleiros Costeiros, três estudos foram conduzidos e são apresentados em capítulos. No primeiro capítulo, em forma de revisão de literatura são apresentados os resultados de pesquisas com cana-de-açúcar e alterações nas propriedades biológicas, químicas e físicas do solo em resposta ao manejo da palha, e sua relação com a qualidade do solo. Do conjunto de dados, se infere que a colheita sem queima com manutenção da palha altera positivamente as propriedades edáficas e melhora a qualidade do solo. Porém, os estudos são insuficientes para suprir informações sobre o efeito da colheita mecânica e sem queima da palhada da cana sobre os solos de tabuleiro. No segundo capítulo foram avaliados, os efeitos da adubação nitrogenada, em cana crua, sobre a produtividade de colmos, acúmulo de palhada, relação entre número e peso colmo, extração e acúmulo de nutrientes nos colmos frescos e na palhada, e sobre a qualidade tecnológica da cana de açúcar. O estudo foi realizado na destilaria LASA no município de Linhares-ES, com cana soca, variedades RB 867515 e RB 918639, em ARGISSOLO AMARELO. Os tratamentos consistiram de cinco doses de N-Sulfato de amônio (sem N, 80, 100, 120 e 160 kg de N ha<sup>-1</sup>), arrançados em desenho experimental de blocos casualizados com quatro repetições. Houve efeito significativo de doses de N sobre produtividade de colmos. A associação entre número e peso de colmos foi significativa para 80 kg N ha<sup>-1</sup> (ambas as variedades) e 100 kg ha<sup>-1</sup> (para a variedade RB91 8639). Houve efeito significativo das doses de N sobre a qualidade tecnológica da cana apenas no segundo ciclo de cultivo estudado. As extrações dos nutrientes N, P e K mostraram significância para as doses de N. O terceiro capítulo, relata um estudo de simulação conduzido com o APSM-Sugar cropping systems model, com dados de um experimento de campo de longa duração (cerca de 23 anos) em Linhares-ES. Este estudo se propôs a investigar o impacto do manejo da palhada após a colheita sobre a produtividade da cana e o destino em longo prazo do N contido na palha. Os objetivos foram: investigar se o modelo foi capaz de reproduzir as tendências de maiores “pools” de N (rendimento de cana e C orgânico no solo) no experimento de longa duração; e usar o modelo parametrizado para investigar como a relação entre o N-fertilizante e rendimento (e perdas de N para o ambiente) varia com o manejo da palhada. As condições de manejo da palha simuladas foram: 100% e 50% da palhada retida após a colheita; e palhada queimada. O manejo da adubação foi simulado para variar com as doses de N de 0 a 240 kg ha<sup>-1</sup> (com incrementos de 40 kg ha<sup>-1</sup>) em cana soca. O rendimento de cana e o C orgânico do solo foram bem representados pelo modelo. O rendimento de cana respondeu positivamente aos sistemas de manejo da palhada (100% e 50% de retenção), mas a magnitude da resposta depende da adubação nitrogenada. A remoção de 50% da palha pode reduzir o efeito de rendimento potencial. Quando a deposição da palhada é prática recente, N adicional é requerido pela cultura para evitar redução do rendimento causada pela imobilização do N. As simulações também indicam que as perdas ambientais de N foram maiores nos sistemas com cana crua para todas as doses de N.

**Palavras-chave:** Cana crua. Sulfato de amônio. Requerimentos de nitrogênio.

## GENERAL ABSTRACT

OLIVERA, Ana Paula Pessim. **Edaphic attributes and nitrogen fertilization in sugarcane on coastal tableland region: response to harvesting system with and without previous burning of straw.** 76p. Thesis (Doctor Science in Agronomy – Soil Science). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2013

To evaluate the impacts of trash management on soil quality and sugarcane production in the Brazilian region of coastal tableland three studies were conducted and are presented in distinct chapters. In the first chapter, a literature review, the results of research with sugarcane and changes in biological, chemical and physical soil properties, in response to trash management and their relationship with soil quality, are presented. In general, the data suggest that harvesting without burning affects positively the soil properties and improves soil quality. However, the studies are not sufficient to inform about the effect of mechanical harvesting without burning of trash in the tableland soils. In the second chapter they were evaluated the effect of N fertilization of green sugarcane on the stalk productivity, the trash accumulation, the relationship between the number and weight of stalks, the extraction and accumulation of nutrients in the fresh stalks and trash, and the sugarcane technological quality. This study was conducted in the LASA distillery, in Linhares municipality, Espírito Santo State, with ratoon cane, varieties RB86 7515 and RB91 8639, in a Xanthic Udult soil. The experiment was set in a randomized blocks design with the control (without N) and four treatments with N applied as ammonium sulphate (80, 100, 120, and 160 kg N ha<sup>-1</sup>) in four replicates. The N had a significant effect on stalks productivity. The relationship between the number and weight of stalks was significant for the dosages of 80 kg N ha<sup>-1</sup> (both varieties) and 100 kg N ha<sup>-1</sup> (only the RB91 8639 variety). There was significant effect of N rates on the cane technological quality only in the second cycle studied. The extractions of N, P and K were significant for the N levels. The third chapter is a simulation study conducted with the APSIM-Sugar cropping systems model, based on data from the log-term experiment (duration of 23 years) in the municipality of Linhares-ES. This study had as goal to investigate the impact of trash management after harvesting on sugarcane production and the long-term fate of N contained in trash. The objectives were: to investigate if the model was capable of reproducing the trends of the major N pools (cane yields and soil organic carbon) in the long term experiment; and using the parameterized model to evaluate how the relationship between N fertilizer and yield (and losses of N to the environment) varies with the trash management. The trash management systems conditions simulated were: retention of trash at harvest (100 %, GCTB); half retention of trash at harvest (50%); and burnt cane trash. The N fertilizer management system was simulated by varying N fertilizer application from 0 to 240 kg ha<sup>-1</sup> (in 40 kg ha<sup>-1</sup> increments) rates on the ratoon crops. The cane yield and soil organic C responded positively to the trash management systems (GCTB and half GCTB), but the magnitude of the response is dependent on N-fertilizer applied on crops. Half removal of trash might reduce the extent of yield increasing potential. When the trash deposition is a recent practice, additional N fertilizer is required by the crop, to avoid yield reduction caused by the N immobilization. The simulations also indicated that the average environmental losses of N were greater from trash retained systems for all rates on N fertilizer applied.

**Key words:** Green cane harvesting. Ammonium sulphate. Nitrogen requirements.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2	CAPÍTULO I: ALTERAÇÕES EM ATRIBUTOS BIOLÓGICOS, QUÍMICOS E FÍSICOS DE SOLOS DE TABULEIRO EM RESPOSTA À PRÁTICA DE COLHEITA DA CANA-DE-AÇÚCAR COM E SEM QUEIMA .....	3
2.1	RESUMO .....	4
2.2	ABSTRACT .....	5
2.3	INTRODUÇÃO .....	6
2.4	BASE DE DADOS E SISTEMATIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO SOBRE O MANEJO DA CANA CRUA E CANA QUEIMADA.....	7
2.5	SISTEMAS DE MANEJO DA COLHEITA COM E SEM QUEIMA DO CANAVIAL .....	9
2.6	EFEITO DO SISTEMA DE COLHEITA DA CANA SOBRE A QUALIDADE DO SOLO.....	10
2.6.1	Propriedades Biológicas do Solo.....	11
2.6.2	Propriedades Químicas do Solo.....	15
2.6.3	Propriedades Físicas do Solo.....	18
2.7	DISCUSSÃO E DEMANDAS DE FUTURAS PESQUISAS.....	21
3	CAPÍTULO II: PRODUTIVIDADE E ATRIBUTOS TECNOLÓGICOS DA CANA-DE-AÇÚCAR (CANA SOCA) SOB DOSES DE NITROGÊNIO EM SISTEMA DE COLHEITA MECANIZADA, SEM QUEIMA DA PALHADA.....	25
3.1	RESUMO .....	26
3.1	ABSTRACT .....	27
3.2	INTRODUÇÃO .....	28
3.3	MATERIAL E MÉTODOS .....	30
3.3.1	Área Experimental.....	30
3.3.2	Tratamentos e Condições Ambientais.....	30
3.3.3	Variáveis Quantificadas.....	32
3.3.4	Análises Estatísticas.....	33
3.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
3.5	CONCLUSÕES.....	41
4	CAPÍTULO III: EFEITO DO MANEJO DA PALHADA SOBRE A DINÂMICA DO CARBONO E NITROGÊNIO E RENDIMENTO: MODELAGEM DE RESULTADOS EXPERIMENTAIS DE LONGO PRAZO EM CANA-DE-AÇÚCAR EM TABULEIROS COSTEIROS.....	42
4.1	RESUMO .....	43
4.2	ABSTRACT .....	44
4.3	INTRODUÇÃO .....	45
4.4	MATERIAL E MÉTODOS .....	47
4.4.1	Descrição da Área.....	47
4.4.2	Dados Climáticos.....	49
4.4.3	Configuração e Parametrização do Modelo.....	49
4.5	RESULTADOS .....	51

4.5.1	Validação do APSIM com o Carbono Orgânico do Solo e Rendimento de Colmos Experimental.....	51
4.5.2	Efeito Simulado da Aplicação de N-fertilizante.....	54
4.5.3	Dinâmica dos Requerimentos de N da Cultura.....	56
4.6	DISCUSSÃO.....	58
4.7	CONCLUSÕES.....	60
5	CONCLUSÕES GERAIS .....	61
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil ocupa posição de destaque no cenário mundial no que diz respeito a fontes renováveis de energia. Com o título de maior produtor de cana e exportador mundial de cana de açúcar, retém 31,4% da produção mundial de 1,3 bilhões de toneladas (UNICA, 2009). A produção agrícola do país na safra 2012/2013 foi estimada em 532 milhões de toneladas, cerca de 4,2 % maior que a safra anterior (UNICA 2012). Este aumento se deve principalmente a três fatores: o aumento na demanda do álcool combustível no mercado interno, em razão do sucesso de vendas dos veículos flex; a crescente demanda mundial de etanol em decorrência das suas qualidades ambientais e a exportação crescente pela competitividade brasileira, e pela redução dos subsídios à exportação de açúcar pela União Européia (UNICA, 2009).

Todavia esse aumento crescente de produtividade da cultura tem exigido adaptações ao setor sucroenergético, com destaque para o manejo da colheita, passando da colheita manual com o uso da despalha a fogo (cana queimada) à colheita mecanizada sem o uso do fogo (cana crua). Entre as razões para a mudança, estão os benefícios da colheita mecanizada para a agroindústria, como a redução de custos e maior rendimento desta operação. Segundo Oliveira (2003), o custo com a colheita mecanizada chega ser 30 a 40% inferior ao da colheita manual. Mas é principalmente por questões ambientais que este processo tem se acelerado a cada ano, devido aos diversos problemas causados pela queima dos canaviais ao meio ambiente. Atualmente, o avanço da colheita de cana sem o uso do fogo prossegue em todos os estados da região Centro-Sul, chegando a 70% da colheita na região (UNICA, 2012).

A mudança no sistema de colheita da cana tem impulsionado a realização de pesquisas regionais para avaliar as alterações causadas às características edáficas e sobre o cultivo da cultura. Um dos estudos pioneiros dessa temática é o realizado no Departamento de Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Neste estudo, ao longo dos últimos 23 anos, foram desenvolvidos experimentos para avaliar o cultivo da cana com e sem queima prévia do canavial, gerando informações comparativas entre esses dois sistemas de manejo da colheita.

No sistema de colheita da cana-de-açúcar, seja manual ou mecanizada, sem a queima, uma quantidade considerável de resíduos vegetais (10 a 20 t ha<sup>-1</sup>), denominados de palha ou palhada, é acumulada no solo. Isso corresponde a adição 30 a 50 kg N ha<sup>-1</sup> potencialmente disponíveis para reduzir a demanda de N fertilizante da cultura, além de aumentar a quantidade de matéria orgânica (Wood, 1991; Ceddia et al. 1999) e os teores de macronutrientes no solo (Meier et al., 2006). Por outro lado, a colheita da cana crua também implica em uma maior dificuldade para a aplicação dos fertilizantes, em razão da necessidade de incorporá-los durante o cultivo, especialmente no caso da cana colhida mecanicamente. Por essa razão, as pesquisas têm dedicado uma atenção considerável aos temas ligados ao uso e manejo de fertilizantes em cana colhida mecanicamente sem a despalha a fogo.

As mudanças no sistema de colheita exigem, portanto, reformulação nas tecnologias de manejo da cultura, principalmente na fertilização nitrogenada de soqueiras, pois a palha acumulada na superfície do solo influencia de modo direto na perda de N por volatilização principalmente quando se usa uréia aplicada em superfície (Trivellin et al., 2002; Silva, 2004). As perdas de N-Uréia aplicadas sobre a palha da cana de açúcar podem chegar a 60% e a 67,5%, pela elevada taxa de hidrólise enzimática, segundo Freney et al. (1994) e Guedes (2002), respectivamente.

Diante da necessidade de respostas quanto ao sistema de produção da cana-de-açúcar sem despalha a fogo, a primeira hipótese do estudo é que os resíduos acumulados na superfície do solo após a colheita sem queima podem influir nos atributos químicos, físicos e

biológicos do solo, devido ao aporte de matéria orgânica e nutrientes, com efeitos positivos significativos sobre a produtividade da lavoura e para a qualidade do solo. Esta hipótese é apresentada nos capítulos I e III da tese.

Para a avaliação dessa influência é necessária a integração de informações em experimentos de longa duração, sobre os vários aspectos que afetam a qualidade do solo e a produção da cana-de-açúcar. Assim, foi inserido o tema de modelagem matemática das informações disponíveis em literatura sobre o agroecossistema cana-de-açúcar. Foram sistematizadas informações de pesquisas ao longo dos últimos 23 anos em experimentos de longa duração, em ambiente de Tabuleiros Costeiros. A base de dados, que representa o Capítulo I desta tese reúne informações sobre características edáficas, em áreas com sistemas de manejo da colheita de cana crua e cana queimada, e sua influência na produtividade da cultura e qualidade do solo. Este grupo de informações, utilizadas no capítulo III, permitiu a avaliação da interação solo-planta-ambiente e a simulação do efeito da manutenção da palhada sobre a dinâmica temporal do carbono e do nitrogênio e o rendimento de colmo no agroecossistema cana-de-açúcar em solo de Tabuleiro usando o modelo para simulação em cana-de-açúcar APSIM-Sugar.

Em função das dificuldades no manejo da fertilização nitrogenada, nas condições de cana crua em solos de tabuleiro, formulou-se uma segunda hipótese. O período de transição de cultivo da cana queimada para cana crua conduzirá a um aumento da necessidade de N-fertilizante em cana soca devido à maior imobilização do N em função da alta relação C:N da palhada.

Para testar essa hipótese apresentada no capítulo II, foi instalado um experimento para avaliar qual dose de N- sulfato de amônio – apresentará melhor resposta de produtividade de colmos; acúmulo de palhada; extração e acúmulo de nutrientes nos colmos frescos e na palhada; e da qualidade tecnológica da matéria prima da cana de açúcar, nas condições edafoclimáticas da área experimental da destilaria LASA, no Município de Linhares, ES.

Os objetivos gerais do trabalho foram:

a) Criação de uma base de dados para sistematizar as informações de pesquisas nos últimos 23 anos em experimentos de longa duração, em ambiente de Tabuleiros Costeiros, quanto às características edáficas, em áreas colheita de cana crua e cana queimada.

b) Recomendação de adubação nitrogenada, na forma de sulfato de amônio, que melhor expresse a produtividade da cana soca em sistema de colheita de cana crua mecanizada.

c) Avaliação do efeito da manutenção da palhada sobre a dinâmica temporal do carbono e do nitrogênio e rendimento de colmo no agroecossistema cana-de-açúcar em solo de Tabuleiro Costeiro, através de modelagem matemática.

## **2 CAPÍTULO I:**

### **ALTERAÇÕES EM ATRIBUTOS BIOLÓGICOS, QUÍMICOS E FÍSICOS DE SOLOS DE TABULEIRO EM RESPOSTA À PRÁTICA DE COLHEITA DA CANA-DE-AÇÚCAR COM E SEM QUEIMA**

## 2.1 RESUMO

A prática agrícola de queima da palhada nos canaviais brasileiros vem sendo eliminada com as mudanças nos sistemas de produção por razões econômicas e pressão ambiental. Porém, ainda existem regiões onde a prática prevalece principalmente nos tabuleiros costeiros, feição geomórfica ao longo da costa brasileira, do estado do Amapá ao Rio de Janeiro. Diante da demanda de dados sobre efeito do manejo da colheita da cana-de-açúcar em solos de tabuleiro, nesse trabalho são resumidos resultados de pesquisas com cana e alterações nas propriedades edáficas em resposta aos sistemas de colheita, crua e queimada, e sua relação com a qualidade do solo. Em geral, os estudos se concentram na camada arável do solo, ou seja, pouco se avaliou sobre os efeitos da queima nas camadas mais profundas, mesmo em solos de tabuleiro com caráter coeso. Os trabalhos de pesquisa, de curta duração, não indicaram melhorias nas propriedades do solo com a mudança de sistema de colheita, embora haja indicações de esses efeitos podem surgir a médio ou longo prazo. As propriedades químicas foram as mais estudadas seguidas das biológicas e físicas. Do conjunto de dados, se infere que a colheita sem queima altera positivamente as propriedades edáficas e melhora a qualidade do solo. Porém, os estudos são insuficientes para suprir informações sobre o efeito da colheita mecanizada e sem queima da palhada da cana-de-açúcar sobre solos de tabuleiro.

**Palavras-chave:** Cana crua e queimada. Atributos edáficos. Colheita mecanizada.

## 2.2 ABSTRACT

The agricultural practice of burning the cane straw in Brazilian plantations is being eliminated due to changes in the production systems and environmental demands. Although, there are still areas where the practice prevails, mainly in coastal tablelands, a geomorphological surface located along the Brazilian coastal region, from Amapá to Rio de Janeiro State. Given the demand for data about the effect of sugarcane harvesting management in the tableland soils, the aim of this paper was to summarize research results from sugarcane studies concerning the changes of biological, chemical and physical soil attributes in response to the green or burnt cane harvesting systems, and the relationship with the soil quality. In general, the studies are concentrated on the arable soil layer, i.e., little has been studied about effects of the burning practice in deep soil layers, even in tableland soils with a cohesive character. About the experiments time duration, the usually short term studies do not show differences in soil properties due to changes of cane harvesting system, although it is suggested that the effects could occur in medium or long terms. Chemical soil properties were the most studied followed by biological and physical. From the data acquired, it may be inferred that harvesting without burning alters positively the soil properties, improving soil quality. However, studies are not sufficient to inform about the effect of mechanized harvesting without burning of cane straw in the tableland soils.

**Key words:** Green cane and burnt. Soil attributes. Mechanized harvesting.

## 2.3 INTRODUÇÃO

A cultura da cana de açúcar é uma das principais atividades econômicas do Brasil, devido a produção de açúcar e de combustível renovável (etanol), como também pelo fornecimento de matéria prima para a indústria química e de subprodutos usados na alimentação animal. Com posição de destaque no cenário mundial, o país possui atualmente o título de maior produtor e exportador mundial de cana de açúcar, e detém 31,4% da produção mundial de 1,3 bilhões de toneladas (UNICA, 2009). Mas para alcançar produções de tal ordem, o cultivo da cana vem sofrendo ao longo dos anos várias inovações tecnológicas, na busca de melhor qualidade e produtividade para cultura, visando sempre a sustentabilidade do sistema de produção. Dentre elas, vale destacar a mudança no manejo de colheita com o uso da despalha a fogo (cana queimada), para a colheita da cana sem queima e de forma mecanizada (cana crua).

Entre as razões para a mudança, estão os benefícios que a colheita mecanizada trás à agroindústria, como a redução de custos para esta operação e maior produtividade do trabalho. Segundo Shikida et al. (2007), o custo com a colheita mecanizada chega ser 30 a 40% inferior ao da colheita manual. Mas é principalmente por questões ambientais que este processo tem se acelerado a cada ano, devido aos diversos problemas causados pela queima dos canaviais ao meio ambiente.

A mecanização da colheita da cana de açúcar sem a queima prévia do canavial começou a ser implementada no Brasil no final do ano de 1980, mas só ganhou impulso no início do novo milênio. Atualmente, o avanço da colheita de cana sem o uso do fogo prossegue em todos os estados da região Centro-Sul, chegando a 70 % da colheita na região (UNICA, 2012).

A legislação ambiental lançou leis, Federais e Estaduais, que regulamentam o fim das queimadas. A Lei nº 11.241 em 19 de setembro de 2002, regulamenta os procedimentos da queimada da palhada da cana, exigindo a redução da área queimada a cada cinco anos. Os prazos para a completa erradicação do uso do fogo nos canaviais localizados em áreas de Tabuleiros Costeiros são ainda mais rigorosos. As superfícies desta paisagem apresentam-se como planas ou ligeiramente onduladas, com solos favorecendo as práticas da agricultura mecanizada, portanto em função da legislação têm prazos menores para a adaptação ao novo sistema de colheita. As principais áreas de cultivo de cana em solos de tabuleiros na região Sudeste, se concentram nos estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo. No Estado do Rio de Janeiro a queima de 100 % do canavial já é proibida desde 1997, por meio do Art. 2º, da Lei nº 2049, de 22 de dezembro de 1992, enquanto que no Espírito Santo onde a lei vigora recentemente (dezembro de 2008), os prazos vão até 2019 para áreas mecanizáveis. No estado de São Paulo, maior produtor do Brasil, os prazos vão até 2014 para áreas mecanizáveis, e 2021 para áreas não mecanizáveis.

A mudança no sistema de colheita da cana tem impulsionado ao longo dos anos a realização de pesquisas regionais com o intuito de verificar o seu impacto sobre o meio ambiente e sobre a cultura e os possíveis reflexos em características do solo e no rendimento industrial da cana-de-açúcar. Uma parte considerável das pesquisas se desenvolveu em solos de tabuleiros objetivando a avaliação da qualidade do solo e produtividade da cultura quando se elimina a queima e mantém a palhada. Mas há de se considerar que a maioria dos resultados se baseia em sistemas onde a colheita sem queima era realizada manualmente. Há, portanto, uma carência de informações quanto ao sistema de colheita mecanizada em ambiente de tabuleiros costeiros, o que dificulta a otimização do sistema, quando comparados às outras regiões produtoras, que já desenvolveram um volume considerável de pesquisas.

O fato de uma parte relevante da produção de cana-de-açúcar no Brasil estar em ambiente de tabuleiros costeiros, torna ainda mais importante o desenvolvimento de novas pesquisas na região. Para alguns estados da região Nordeste como Alagoas, Pernambuco e Paraíba, que possuem as maiores participações na produção da região nordeste com 34, 32 e 10 % de área plantada respectivamente, constitui-se em uma das principais culturas, com relevante papel sócio-econômico. Os estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo, ainda que não apresentem participação significativa na produção da região Sudeste, possuem área de aproximadamente 216000 ha de solos de tabuleiros sob cultivo da cana-de-açúcar, desempenhando um papel socioeconômico significativo para a economia destes dois estados (IBGE, 2009).

Diante da importância socioeconômica da cana-de-açúcar nos tabuleiros costeiros, o objetivo dessa revisão foi sintetizar pesquisas com cana-de-açúcar em solos de tabuleiros costeiros e os relatos de alterações nas propriedades edáficas em resposta aos sistemas de colheita de cana crua e cana queimada na literatura. Desta forma, apontando demandas de novas pesquisas e com sugestões para a implantação de sistemas sustentáveis.

#### **2.4 BASE DE DADOS E SISTEMATIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO SOBRE O MANEJO DA CANA CRUA E CANA QUEIMADA**

Entre as pesquisas desenvolvidas com o intuito de investigar o efeito dos sistemas de colheita sobre propriedades edáficas do solo, uma parte considerável, desenvolvida pelo Departamento de Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, é apresentada na Tabela 1. Os resultados são apresentados pelos seguintes autores, em ordem cronológica do mais antigo ao mais atual.

As pesquisas apresentadas na Tabela 1 foram desenvolvidas em áreas de usinas localizadas nos estados do Rio de Janeiro, Espírito Santo e Pernambuco, durante o período de 1989 até 2009. O ambiente experimental, denominado de “Tabuleiros Costeiros” se constitui em um dos principais caracteres geomórficos presente ao longo da costa brasileira, desde o estado do Amapá até o Rio de Janeiro.

Os limites da paisagem dos tabuleiros alternam-se, com a presença na parte oriental da baixada litorânea e, na parte ocidental, com os “inselbergs” ou morros de formato arredondado, relacionados ao Complexo Cristalino (Anjos, 1985). Apresentam feição característica de topografia tabular dissecada por vales profundos de encostas com forte declividade (Resende, 2000). Estima-se que as áreas de tabuleiros abrangem extensão de 200.000 Km<sup>2</sup> (20 milhões de hectares). Nos estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo, na região Sudeste, e em Pernambuco, na Região Nordeste, estes solos ocupam uma extensão territorial estimada em 1.437, 9.580 e 2.618 km<sup>2</sup> respectivamente (Jacomine, 1996).

Em quase todos os trabalhos, os tratamentos avaliados foram colheita manual com queima do canavial e colheita manual sem a queima do canavial. Apenas um trabalho, o de Schultz, (2009) utilizou a colheita mecanizada no tratamento sem a queima do canavial. Embora apenas um trabalho com mecanização na colheita da cana seja apresentado na Tabela 1, esta forma de manejo da colheita merece mais atenção, já que a colheita da cana crua manualmente é praticamente inviável economicamente e é prejudicial à saúde humana (Campos 2003). Deste modo a investigação dos possíveis benefícios e/ou prejuízos da colheita mecanizada se torna fundamental para a sustentabilidade do sistema de produção principalmente em solos de tabuleiros em razão das limitações químicas e físicas que esses solos apresentam.

**Tabela 1.** Estudos sobre o efeito de diferentes sistemas de colheita da cana-de-açúcar em propriedades químicas, físicas e biológicas de solos de tabuleiros costeiros.

<b>Autor</b>	<b>Local</b>	<b>Tema da Pesquisa</b>
Ceddia, 1996	Linhares, ES	Efeito do manejo de colheita na produção de cana-de-açúcar e em propriedades físicas de solo de TC.
Mendoza, 1996	Linhares, ES	Efeito do manejo de colheita da cana-de-açúcar sobre propriedades químicas e biológicas em solos de TC.
Pinheiro, 1996	Campos, RJ	Efeito do manejo de colheita da cana-de-açúcar sobre a macrofauna de solos cultivados com cana-de-açúcar.
Manhães, 1996	Campos, RJ Linhares, ES	Fósforo em dois solos cultivados com cana-de-açúcar colhida em sistemas de cana crua e queimada.
Silva, 2000	Linhares, ES	Efeito do manejo de colheita da cana-de-açúcar sobre as propriedades químicas do solo, crescimento da cultura e acúmulo de nitrogênio.
Guedes, 2002	Conceição da Barra, ES	Volatilização de N e alterações químicas do solo sob cultivo de cana-de-açúcar com aplicação de vinhaça e diferentes formas de colheita.
Resende, 2003	Timbaúba, PE	Efeito da queima e das aplicações de N e vinhaça após 16 anos de cultivo de cana de açúcar.
Silva, 2004	Conceição da Barra, ES	Dinâmica do N da uréia ( $^{15}\text{N}$ ) e utilização do N da palhada ( $^{15}\text{N}$ ) em cana soca colhida sob diferentes sistemas de manejos
Martinho et al. (2004)	Linhares, ES	Mesofauna em Argissolo Amarelo cultivado com cana-de-açúcar sob diferentes manejos
Martinho et al. (2006)	Conceição da Barra, ES	Mesofauna do solo em sistemas de colheita de cana crua e queimada integrada ao uso de vinhaça, no estado do Espírito Santo.
Pinheiro, 2007	Linhares, ES	Fracionamento físico e caracterização da matéria orgânica do solo sob diferentes coberturas vegetais.
Tavares, 2007	Linhares, ES	Crescimento da cana-de-açúcar cultivada sob diferentes sistemas de plantio e colheita.
Schultz, 2009	Conceição da Barra, ES	Efeito residual da adubação em cana planta e adubação nitrogenada em cana de primeira soca com aplicação de vinhaça.
Benazzi, 2011	Linhares, ES	Produtividade, fertilidade e fauna do solo em um Argissolo Amarelo cultivado com cana-de-açúcar sob diferentes sistemas de colheita.

Dentre as restrições químicas, destacam-se a baixa capacidade de troca catiônica e a predominância da caulinita na fração argila, e com relação às restrições físicas, uma das mais significativas é a ocorrência de horizontes coesos subsuperficiais com elevado grau de adensamento e por essa razão apresentam baixa capacidade de retenção de água, aeração prejudicada e impedimento do aprofundamento do sistema radicular, que se concentra na camada superficial do solo (Anjos, 1985; Fonsêca et al. 2007). Essas características associadas ao clima local (com distribuição irregular das chuvas) e ao manejo inadequado, com intenso revolvimento do solo e queima das culturas, têm levado a valores de produtividades cada vez menores.

## 2.5 SISTEMAS DE MANEJO DA COLHEITA COM E SEM QUEIMA DO CANAVIAL

A colheita com queima consiste em atear fogo no canavial previamente ao corte e tem como justificativas: a) eliminar a palhada nas entre linhas e na própria planta, facilitando a colheita manual; b) eliminar animais perigosos para o cortador de cana; c) controlar a população de plantas daninhas, insetos e patógenos; e d) diminuir seu volume para a incorporação ao solo e assim facilitar o cultivo da soqueira e a renovação da lavoura (Valsechi, 1951; Delgado e Mafra, 1989).

As conseqüências da queima sobre a qualidade do solo são graves, principalmente em se tratando de solos cuja mineralogia, e o elevado grau de intemperismo resultam em baixa fertilidade natural, como é o caso dos solos de tabuleiro costeiros. O fogo altera as composições químicas, físicas e biológicas do solo, prejudica a ciclagem de nutrientes, causando volatilização de N e S. O aumento da temperatura nas camadas superficiais do solo em razão da queima do canavial promove perdas por volatilização de elementos essenciais para o desenvolvimento da planta, como o S e o N. Com a queima são perdidas cerca de 10 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de palha, que contém 40-60 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, 15-30 kg ha<sup>-1</sup> de enxofre, além de 4500 kg ha<sup>-1</sup> de carbono (Urquiaga et al., 1997 e Resende et al., 2006a e b). O intenso revolvimento do solo no plantio somado a queima da palhada antes da colheita diminui a sua umidade natural, levando a uma maior compactação e a perda de porosidade dos mesmos, o que leva a uma redução da condutividade de água do solo (Ceddia, et al., 1999; Silva, 2000). Além disso, o solo permanece descoberto por um período relativamente extenso, acelerando o processo de erosão.

A colheita sem queima consiste em efetuar o corte manual ou mecanicamente sem o uso prévio do fogo. O sistema de cultivo cana crua e mecanizada foi desenvolvido com a finalidade de eliminar a queima da cultura para cumprimento da legislação ambiental. Com a prática, elimina-se a mobilização superficial do solo e o mantém coberto com restos culturais. Esta prática melhora as propriedades edáficas do solo e contribui em longo prazo para a redução do uso de fertilizantes, além de aumentar o potencial produtivo do solo e conseqüentemente da cultura.

Com a prática da colheita sem a queima prévia do canavial, grande quantidade de resíduos vegetais é depositada sobre o solo. No sistema mecanizado os resíduos da cultura (folhas, bainhas e ponteiros) além de pedaços de colmos são cortados, triturados e lançados sobre a superfície do solo formando uma cobertura de resíduo vegetal (mulch) denominada palha ou palhada. A quantidade de palhada de canaviais colhidos sem queima varia de 10 a 30 Mg ha<sup>-1</sup>, formando uma camada que varia de 10 a 12 cm de espessura. Esta variação na quantidade de material depositado sobre o solo pode ser atribuída à variedade cultivada, idade da planta e região de cultivo, (Trivelin et al., 1996; Campos, 2003).

A colheita da cana sem a queima prévia da palhada apresenta vantagens e desvantagens. Dentre os benefícios destacam-se:

- a redução da emissão de gases do efeito estufa, entre eles, o CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, NO e N<sub>2</sub>O (Campos, 2003);
- proteção e conservação do solo, através da manutenção da fauna, flora e microrganismos que atuam na decomposição da palhada e no aumento do teor de matéria orgânica do solo e também na diminuição da evaporação edáfica, principalmente em regiões com baixa precipitação pluviométrica (Urquiaga et al., 1991).
- Maior proteção contra a ação agressiva das chuvas, principalmente após a colheita, aumento da infiltração de água e manutenção da umidade no solo, diminuição do escoamento superficial e da erosão, além de manter ou aumentar a estabilidade dos

agregados (Urquiaga et al., 1991; Pinheiro, 1996; Ceddia et al., 1999; Mendoza et al., 2000);

- Adição dos restos da cultura ao solo, rico em nutrientes, que podem gradativamente ser disponibilizados ao solo para a absorção pela planta. A colheita da cana sem queima proporciona aumento dos teores de nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio e carbono orgânico do solo (Mendoza et al., 2000).
- Redução das perdas de nutrientes, seja para a atmosfera (via combustão), seja para as águas (por posterior lavagem e lixiviação).
- A palha sobre a superfície do solo contribui para o controle de ervas daninhas e para a preservação de insetos que são predadores naturais das pragas comuns na cultura, possibilitando, assim, a diminuição do uso de herbicidas (Ceddia, 1996).

Dentre os principais problemas da colheita da cana sem queima com deposição da palha sobre o solo, destacam-se:

- As dificuldades encontradas durante as operações de cultivo e adubação da soca. A presença desse material orgânico na superfície do terreno dificulta o enterramento do adubo no solo, sendo então o adubo aplicado sobre a superfície desse material, levando a grandes perdas de amônia por volatilização, principalmente quando se utiliza a uréia como fertilizante (Guedes, 2002; Silva, 2004).
- A lenta taxa líquida de mineralização do nitrogênio da palhada (Trivelin et al., 1995).
- O aumento das populações de pragas que se abrigam e se multiplicam sob a palhada, podendo também haver a diminuição do rendimento, por problemas de brotação da nova planta após o corte (Vasconcelos, 2002; Macedo et al., 2003).
- Obstrução da penetração dos raios solares pela palhada, mantendo a temperatura do solo mais baixa em locais frios, prejudicando o rebrote da planta.
- O aumento do tráfego de máquinas e veículos de transbordos que podem contribuir para uma maior compactação do solo.
- Substituição dos trabalhadores rurais por máquinas agrícolas, levando a um grave problema social.

## **2.6 EFEITO DO SISTEMA DE COLHEITA DA CANA SOBRE A QUALIDADE DO SOLO**

A intensa degradação do solo devido a exploração agrícola despertou nas últimas décadas a preocupação com a sua qualidade e com a sustentabilidade dos sistemas de produção. Dentre os conceitos propostos para qualidade do solo, existe um que a define como sendo a integração das propriedades biológicas, físicas e químicas do solo, que o habilita a exercer suas funções na plenitude (Vezzani e Mielniczuc, 2009), sendo esse conceito muito utilizado para avaliar a sustentabilidade de diferentes práticas de manejo do solo. O monitoramento da qualidade do solo cultivado com cana-de-açúcar sob efeito de diferentes práticas de manejo da colheita é de fundamental importância para o desenvolvimento sustentável do sistema de produção, sem comprometer sua qualidade no futuro.

A discussão sobre a queima da cana-de-açúcar seja antes ou após a colheita e suas consequências sobre a qualidade do solo e da matéria prima vêm de muito tempo. Em 1888, Boname desenvolveu um trabalho onde apresentava as vantagens e desvantagens da prática da queima dos canaviais. No início do século seguinte, novos estudos foram desenvolvidos, com enfoque sobre os aspectos agrônômicos, entomológicos e tecnológicos principalmente (Dominguez 1923; Bayma, 1924; Rosenfeld, 1941; Maxwell, 1927).

No Brasil, as pesquisas começaram a se desenvolver no início dos anos de 1940, em razão da expansão da queima dos canaviais. A comunidade científica consciente dos prejuízos causados pelo fogo à qualidade ambiental começou a abordar nas publicações, a preocupação com a degradação dos solos, com a sustentabilidade da cultura e os benefícios do cultivo sem a queima para o sistema solo-planta-atmosfera. Melo (1940) afirma que a queima da palhada deve ser abandonada, pois é uma prática destruidora da matéria orgânica dos canaviais. Ele considera ainda que “*a palhada conserva a umidade do solo, aquece-o, facilita a sua vida bacteriana, controla a erosão, é empecilho ao desenvolvimento de más ervas, além de abrigar os inimigos naturais das pragas dos canaviais*”. Mais a frente em 1951, Valsechi relata as conseqüências que a queima da cana seja antes ou após a colheita traz às características do solo e às qualidades tecnológicas da matéria prima.

As pesquisas envolvendo o uso ou não do fogo na cultura da cana-de-açúcar se estenderam da década de 50 até os dias atuais em razão das dúvidas e de opiniões divergentes quanto aos efeitos negativos desta prática para a preservação do ambiente. Dessa forma a realização de levantamentos dos resultados encontrados em diversas regiões do país até o presente, pode fortalecer a prática de manejo sem queima e de certa forma contribuir para a viabilização do sistema de colheita mecanizada. Como uma parte considerável da produção de cana-de-açúcar no Brasil está localizada em ambiente de tabuleiros costeiros, no presente estudo serão destacados os resultados encontrados em experimentações de longa duração desenvolvidas pelo departamento de solos da UFRRJ, sobre esses solos. Resultados de outras regiões também serão discutidos. Será apresentado a seguir, o efeito dos sistemas de colheita sobre parâmetros químicos, físicos e biológicos do solo, com o intuito de apontar o conhecimento gerado e verificar que novas pesquisas ainda precisam ser desenvolvidas.

### **2.6.1 Propriedades Biológicas do Solo**

Os atributos do solo com maior sensibilidade em responder rapidamente às modificações no ambiente são os de caráter biológico. As características ou propriedades biológicas do solo dizem respeito aos seus componentes orgânicos, representados pelos animais e vegetais ou seus resíduos frescos, ou nos mais variados estados de decomposição. A matéria orgânica morta corresponde a 98 % do total de C orgânico do solo e a biomassa microbiana do solo, considerada a matéria viva, raramente ultrapassa 4 % do total de C orgânico do solo. Tais componentes ao serem monitorados ao longo do tempo, são capazes de detectar alterações na qualidade do solo em função do manejo (Larson & Pierce, 1994).

A biomassa microbiana e a respiração basal do solo encontram-se entre esses componentes, a primeira corresponde a parte viva da matéria orgânica, composta de bactérias, fungos actinomicetos, algas e protozoários e age na decomposição dos resíduos orgânicos depositados no solo, utilizando-os como fonte de energia e nutrientes para a formação e multiplicação celular. A biomassa microbiana do solo (BMS) é responsável pela imobilização temporária dos nutrientes, que serão liberados após a sua morte e decomposição, representando considerável reservatório lábil de elementos essenciais para as plantas (Anderson & Domsch, 1980). A segunda componente, também denominada carbono prontamente mineralizável, é um dos métodos tradicionalmente utilizados para avaliar a atividade metabólica da população microbiana do solo através da liberação de CO<sub>2</sub> (Doran & Parkin, 1994). As combinações das medidas da biomassa microbiana e respiração do solo fornecem a quantidade de CO<sub>2</sub> evoluída por unidade de biomassa, denominada quociente metabólico ou respiratório ( $qMCO_2$ ), que tem sido usado como um índice para o potencial de mineralização da MOS (Anderson & Domsch, 1993). Segundo Odum (1983), ao avaliar a sucessão de ecossistemas o  $qMCO_2$  altera-se com distúrbios e recupera-se em condições de equilíbrio. As propriedades biológicas refletem mudanças no solo, permitindo acompanhar de

forma rápida alterações devidas a práticas agrícolas.

A tabela 2 lista 21 estudos sobre efeito da colheita da cana nas propriedades biológicas do solo. Em solos de tabuleiros, Mendoza et al. (2000) avaliando a dinâmica do C da biomassa microbiana ( $C_{BM}$ ), em três épocas do ano (maio, agosto e novembro) e após cinco ciclos de cana, encontraram maiores teores de  $C_{BM}$  no sistema sem queima e em novembro (303 a 224 mg C kg<sup>-1</sup> solo), comparado ao sistema com queima (194 a 190 mg C kg<sup>-1</sup> solo) considerando a camada 0 a 20 cm do solo. Esse aumento se deu em parte pelas condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento da população microbiana, pela elevação da temperatura do ar e a ocorrência de precipitação, e a palha remanescente do cultivo anterior.

Devido à constituição lignocelulósica, parte da palhada acumulada de um ciclo para o outro no solo, serve de substrato para os organismos do solo (Abramo Filho et al., 1993). Esse fator pode ainda ter desfavorecido a mineralização da MO nas épocas mais secas e frias do ano (maio e agosto). Nos sistemas de manejo da colheita estudados por Mendoza et al. (2000), as variações seguiram padrão sazonal, com maiores valores na estação chuvosa e menores na seca. No sistema de colheita sem a queima, o padrão sazonal levou a diferença significativa nos resultados, na profundidade de 5-20 cm, maior no mês de maio em relação a agosto. Czcza (2009) estudou a dinâmica do  $C_{BM}$  em áreas de seis e doze anos de cultivo de cana, em solo argiloso de São Paulo, e não encontrou diferença entre as áreas com e sem queima da palhada na estação seca (agosto). Porém, os resultados mostram variação do conteúdo de  $C_{BM}$  de 542 a 437 mg C kg<sup>-1</sup> com queima e 717 a 542 mg C kg<sup>-1</sup> sem queima, em ambas as épocas, nos primeiros 20 cm de profundidade. Esse padrão foi observado por Mendoza et al. (2000), com valores de 215 a 152 mg C kg<sup>-1</sup> com queima e 303 a 195 mg C kg<sup>-1</sup> sem queima em três épocas. Os resultados corroboram Galdos et al. (2009), que encontrou em parcelas de 2, 6 e 8 anos de cultivo os maiores teores de  $C_{BM}$  (376 a 187 mg C kg<sup>-1</sup> vs 180 a 144 mg C kg<sup>-1</sup>) para a área sem queima da palhada e na superfície do solo.

Estudos em outras regiões mostram aumento no teor de  $C_{BM}$  na camada superficial de solos sob cultivo de cana sem a queima e com deposição da palhada (Wood, 1991; Sutton et al., 1996; Graham et al., 2001; Robertson e Thorburn, 2001; Dlamini e Haynes, 2004; Robertson e Thorburn, 2007; Pôrto et al., 2009). O incremento no teor de  $C_{BM}$  depende do tempo de adoção do sistema sem queima e, segundo Robertson e Thorburn (2007), passa a ser significativo em áreas com pelo menos 6 anos de cultivo. Corroborando o dado, Sant'Anna et al. (2009), em tabuleiro costeiro na região Nordeste, não encontraram aumentos de  $C_{BM}$  nos sistemas estudados, em que o tempo de cultivo sem queima foi de apenas 3 anos. Ainda, seus resultados referem-se à estação seca na região (março) e a deficiência de água pode ter limitado o crescimento e a atividade microbiana, semelhante ao ocorrido com Mendoza et al. (2000) e Czcza, (2009).

A respiração acumulada (evolução de CO<sub>2</sub> no período de cinco dias) e o qMCO<sub>2</sub> foram avaliados por Mendoza et al. (2000) em solos de tabuleiros. A respiração do solo, assim como o  $C_{BM}$ , apresentou maiores valores (75 a 32 mg C kg<sup>-1</sup> solo) na camada superficial da cana sem queima, sendo os valores de 43 a 23 mg C kg<sup>-1</sup> solo no cultivo com queima. Já o qMCO<sub>2</sub> não apresentou diferença entre as formas de colheita. Quando analisado somente o sistema sem queima, observou-se diferença significativa no qMCO<sub>2</sub> com maior valor na camada de 0-5 cm, 3,0 contra 1,1 mg C-CO<sub>2</sub> mg<sup>-1</sup>  $C_{BM}$  h<sup>-1</sup> na camada de 5-20 cm, no início da estação chuvosa (novembro) e quando o aporte de MO é maior. Segundo os autores, a mudança se deu na população dos microrganismos, pelo maior aporte no sistema sem queima e com deposição da palhada, como verificado pelos dados de biomassa microbiana e evolução de C-CO<sub>2</sub>.

**Tabela 2.** Estudos sobre o efeito do manejo da colheita da cana-de-açúcar sobre as propriedades biológicas do solo (PBS): Biomassa microbiana do solo (BMS); Respiração Basal do solo; Quociente metabólico (qMCO<sub>2</sub>); Mesofauna e Macrofauna edáfica.

Referência	Propriedade Biológica	Localização	Classe de solo ou textura <sup>1</sup>	Cultivo <sup>2</sup> (anos)	Prof. Amostragem (cm)
Czyczada (2009)	BMS	Pradópolis-SP	Latossolo Vermelho	6 e 12	0-10; 10-20
Galdos et al. (2009)	BMS	Pradópolis-SP	Latossolo Vermelho	2, 6 e 8	0-10; 10-20
Santana et al. (2009)	BMS	Boca da Mata-AL	Argissolo Amarelo	CQ - 20 SQ - 3	0-10
Pôrto et al. (2009)	BMS, RBS, qMCO <sub>2</sub>	Areia-PB	Latossolo Amarelo	13	0-20
Robertson e Thorburn (2007)	BMS, RBS	Harwood, Mackay e Tully-Austrália	Clay loam, Sandy loam e Clay	1 a 6	0-2; 2-5; 5-10; 10-25
Dlamini e Haynes (2004)	BMS	KwaZulu-Natal - África do Sul	Humic-Ferralsols	> 15	0-30
Robertson (2003)	BMS	Harwood, Mackay e Tully-Austrália	Clay loam, Sandy loam e Clay	1 a 6	0-2; 2-5; 5-10; 10-25
Graham et al. (2001)	BMS, RBS	Durban África do Sul	Chromic-Vertisol	59	0-2,5; 2,5-5; 5-10; 10-20; 20-30
Robertson e Thorburn (2001)	BMS, RBS	Harwood, Mackay e Tully-Austrália	Clay loam, Sandy loam e Clay	1, 3 e 6	0-2; 2-56; 5-10; 10-20
Sutton et al. (1996)	BMS	Austrália	Alluvial Silty Loam	10	0-2,5; 2,5-5; 5-10; 10-20; 20-30
Mendoza et al. (2000)	BMS, RBS, qMCO <sub>2</sub>	Linhares-ES	Argissolo Amarelo	6	0-10; 10-20; 20-30
Martinho et al. (2004)	Mesofauna	Linhares-ES	Argissolo Amarelo	14	0-5; 5-10
Benazzi (2011)	Macrofauna	Linhares-ES	Argissolo Amarelo	20	0-10; 10-20; 20-30
Martinho et al. (2006)	Mesofauna	Conceição da Barra-ES	Argissolo Amarelo	7	0-5; 5-10
Cedia et al. (1999)	Macrofauna	Linhares-ES	Argissolo Amarelo	6	0-5; 5-10; 10-20; 20-30; 30-40
Pinheiro (2000)	Macrofauna	Campos-RJ	Cambissolo	30	0-30
Pasqualin (2009)	Macrofauna	Colorado-PR	Latossolo Vermelho	3	0-30
Dlamini e Haynes (2004)	Macrofauna	África do Sul	Humic-Ferralsols (FAO)	> 15	0-30
Araújo et al. (2005)	Macrofauna	Oratórios-MG	Não informado	10	0-10
Araújo et al. (2004)	Macrofauna	Oratórios-MG	Não informado	9	0-10
Maced e Araújo(2000)	Macrofauna	Piracicaba-SP	Não informado	1 e 2	0-10

<sup>1</sup>Classificação dos solos correspondentes no SiBCS (Embrapa 2006) ou FAO (1998) ou ainda atributos de solo. <sup>2</sup>Duração do ciclo de cultivo da cana crua e queimada considerada no estudo. CQ = com queima; SQ = sem queima.

O aumento na respiração microbiana foi observado por Robertson e Thorburn (2007), no Norte da Austrália, e por Graham et al. (2001b) na África do Sul. Entretanto, na África do Sul o valor de  $qMCO_2$  foi maior (0,0055 a 0,0056  $mg\ C-CO_2\ mg^{-1}\ C_{BM}\ dia$ ) na cana queimada comparada a cana crua (0,0036 a 0,0032  $mg\ C-CO_2\ mg^{-1}\ C_{BM}\ dia$ ) nos primeiros 20 cm. Segundo os autores, a queima diminuiu o uso do substrato orgânico (baixo teor de Corg) pela comunidade microbiana do solo. Além disso, as comunidades de fungos, estimuladas com a deposição da palha em superfície, são mais eficientes na conversão de C do substrato em C celular que as bacterianas e este fator pode ter conduzido ao menor valor de  $qMCO_2$  no tratamento sem queima da palha.

A fauna do solo é outro parâmetro biológico que ao ser investigado pode identificar alterações na sua qualidade em razão da prática de manejo adotada. Segundo Lee e Wood (1971), distúrbios resultantes de cultivos, reduzem tanto a biomassa quanto a diversidade das comunidades edáficas. Tradicionalmente a fauna é classificada com base nas dimensões corporais em, microfauna, mesofauna, macrofauna, ou mais recentemente, considerando aspectos fisiológicos tais como o regime alimentar, em saprófagos, fitófagos e predadores (Correia e Oliveira 2000).

No caso da macrofauna, esta consiste de animais maiores que 2 mm (como minhocas, coleópteros, centopéias, cupins, formigas, piolhos de cobra, tatuzinhos e aracnídeos), com capacidade de afetarem diretamente o funcionamento e as propriedades do solo (Wolters, 2000; Lavelle e Spain, 2001). Acima de 20 mm de diâmetro corporal, os invertebrados do solo passam a pertencer à categoria da megafauna, composta por algumas espécies de oligoquetos, diplópodes, quilópodes e coleópteros. Estas duas categorias exercem papel fundamental nas transformações dos resíduos vegetais e animais que chegam ao solo, atuando na fragmentação e redistribuição dos mesmos no perfil do solo. Como consequência desta fragmentação tem-se o aumento da área superficial e da disponibilidade de substrato orgânico favorecendo assim a atividade microbiana, podendo também ser importante na formação de agregados (Swift et al., 1979; Correia e Oliveira 2000).

Estudo desenvolvido por Pinheiro (1996) quantificando a abundância e diversidade da macrofauna em solos do Norte do estado do Rio de Janeiro cultivados com cana-de-açúcar revelou que o manejo de colheita sem a queima da palha, favoreceu a população de macroartrópodos não somente em quantidade, como também em riqueza dos grupos encontrados. Assim como Pinheiro, Ceddia (1996) estudou o efeito do manejo de colheita da cana (com e sem queima), em solo de tabuleiro do Espírito Santo e relatou aumento no número médio de minhocas (4,8 minhocas contra 2,0 na cana queimada em 0,0125  $m^3$  de solo) durante o ano, no tratamento sem queima. Molina (1995) também verificou aumento na população de minhocas em sistema de colheita sem queima com deposição de palhada em dois solos de tabuleiro, um Argissolo Amarelo e um Cambissolo, respectivamente.

O cultivo da cana queimada diminui bastante a disponibilidade do material vegetal às minhocas, aumenta a temperatura do solo nas camadas superficiais e não permite, nos primeiros meses após a colheita, a manutenção de uma camada de restos orgânicos que protegem a superfície do solo das variações de temperatura e umidade. Mas dentre essas características, a constante deposição de palhada parece ser o fator determinante das diferenças de população. A umidade do solo varia muito pouco e o aumento da temperatura, no período que precede a colheita, não parece ter um efeito prolongado sobre as populações, a ponto de interferir nas gerações posteriores ao fogo (Kladivko e Mackay, 1986).

Na mesma área experimental usada por Ceddia (1996), um estudo sobre a composição da fauna edáfica foi desenvolvido por Matinho e al. (2004). Os resultados das duas profundidades avaliadas (0-5 e 5-10 cm) indicaram que a queima da palhada reduz o número de indivíduos na camada superficial (0-5 cm) devido à morte e/ou migração da fauna do solo.

Maior número de indivíduos no tratamento cana queimada foi observado na profundidade 5-10 cm, 6562 ind m<sup>-2</sup>, contra 4624 ind m<sup>-2</sup> observados na camada superficial. Entre os grupos funcionais avaliados nas áreas com e sem queima, houve maior participação dos Holometábolos, Fitófagos, Formicidae e Parasitóides. Resultado semelhante foi encontrado por Martinho et al. (2006), em outro solo de tabuleiro nas profundidades 5-10 cm, nos tratamentos com cana queimada, indicando que indivíduos habitam camadas mais profundas onde se concentra a matéria orgânica proveniente do sistema radicular, menos influenciadas pelas oscilações de temperatura e umidade. Por outro lado, a mesofauna manteve o mesmo grau de diversidade em relação à cana crua quando vinhaça foi usada em ambos os tratamentos.

Recentemente, novo estudo sobre os impactos dos métodos de colheita na dinâmica populacional da macrofauna em duas épocas de coleta (fevereiro e julho) foi desenvolvido por Benazzi (2011), em solo de tabuleiro do Espírito Santo. A densidade total da macrofauna, a riqueza e a diversidade de grupos funcionais foram afetados pelo manejo de colheita apenas em fevereiro, sendo os maiores valores encontrados no manejo sem queima da palha. Segundo Benazzi (2011) nesta época de amostragem a manutenção da cobertura de palha ofereceu ambiente favorável à atividade da fauna quanto ao recurso alimentar, microclima e abrigo, condicionando a ocorrência de diferentes grupos da fauna. Entre os grupos funcionais avaliados nos dois períodos amostrais, houve maior participação dos Formicidae, Coleoptera, Aranae (predadores) e Oligochaeta (saprófago), sendo os Formicidae o grupo de maior densidade e dominância. Os resultados também indicaram menor concentração de indivíduos na camada superficial (0-10 cm) do tratamento cana queimada. Ausência de resposta aos tratamentos em julho também foi observado por Moço et al. (2005), que avaliaram a fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais na região Norte Fluminense do Rio de Janeiro.

Outros autores também afirmam que a queima controlada da cana promove uma série de impactos negativos ao meio ambiente, e em particular à macrofauna associada à cultura da cana, a citar Araújo et al. (2005) que trabalhou com a comunidade de artrópodes; Araújo et al. (2004) com formicídeos; Dlamini e Haynes (2004) com minhocas na África do Sul e Pasqualin (2009) que além do método de colheita, avaliou também o efeito da aplicação ou não de vinhaça sobre a macrofauna edáfica no Noroeste do Paraná.

A queima da palhada da cana-de-açúcar afeta significativamente a macrofauna do solo resultando em mudanças na estrutura e no maior tempo de restabelecimento destas comunidades. Por outro lado, a permanência da palhada contribui para a manutenção da umidade, temperatura e matéria orgânica, beneficiando a flora e fauna do solo, em especial os artrópodes detritívoros, os quais possuem importante papel na decomposição da matéria orgânica, além de induzirem ainda uma maior ocorrência de organismos (Campanhola, 2002, Araújo et al., 2005).

## **2.6.2 Propriedades Químicas do Solo**

As propriedades químicas do solo dizem respeito à atividade dos elementos químicos e as reações que se processam em cada fase (sólida, líquida e gasosa) do solo, com interações entre eles e deles com o ambiente, influenciando a quantidade e disponibilidade de nutrientes (Ex: pH, teor de Al, CTC). Nos ecossistemas naturais em equilíbrio, as entradas de nutrientes originados do intemperismo e da decomposição de resíduos orgânicos equivalem às perdas pela lixiviação das bases, assimilação pelas plantas e mineralização da matéria orgânica. A remoção de resíduos orgânicos pela queima, como na colheita da cana, altera a dinâmica dos nutrientes do solo e reduz o teor de MO do solo. O manejo da colheita da cana com deposição de palhada influencia as propriedades químicas com aumento dos teores dos nutrientes e da CTC do solo; mineralização e humificação da MO; diminui a fixação de P e disponibiliza

nutrientes como o P e K, entre outros. Schultz et al. (2010) observaram em solo de tabuleiro, exportação de K 27,6 % superior em cana colhida sem queima da palhada comparada à cana queimada, indicando aumento na disponibilidade e eficiência desse nutriente pela cana-de-açúcar. A deposição de material vegetal atua como condicionador do solo e fonte de nutrientes, aumentando a capacidade produtiva do solo (Azeredo e Manhães 1983).

A tabela 3 lista 10 estudos sobre o impacto do manejo da colheita da cana nas propriedades químicas do solo. Mendoza et al. (2000) estudou o efeito do manejo da colheita da cana-de-açúcar em solo de tabuleiro, em três profundidades e após cinco ciclos de cultivo com e sem queima. No cultivo sem queima o teor de Corg foi superior ( $9,9 \text{ g C kg}^{-1}$ ) ao da cana queimada ( $7,2 \text{ g C kg}^{-1}$ ) na camada de 0-10 cm, devido ao maior aporte de MO no momento da colheita sem a queima ( $16,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ ). Em tabuleiro costeiro no Município Boca da Mata-AL, Sant'Anna et al. (2009) não observaram alterações no Corg nas duas formas de colheita após análise da camada de solo de 0-10cm ( $8$  e  $10 \text{ g C kg}^{-1}$  sem e com queima respectivamente).

Segundo Mendoza et al. (2000), o cultivo sem queima aumentou o teor de Mg e a capacidade de troca de cátions (respectivamente de  $1,1$  e  $5,1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , versus  $0,7$  e  $4,4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  com queima). Já os teores de P e K foram maiores na cana queimada ( $11$  a  $1,7 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  e  $0,17$  a  $0,10 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , respectivamente) contra  $4,4$  a  $0,9$  e  $0,14$  a  $0,06 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  na cana sem queima, nos primeiros 30 cm. Os valores de pH, Al, H+Al, V, S, e os teores de N e Na e a relação C/N não diferiram entre as formas de manejo da palha. O retorno da palhada aumentou a MO influenciando as propriedades químicas. O teor de C na fração humina e nas frações de ácidos fúlvicos e ácidos fúlvicos livres foi maior ( $2,5$ ;  $0,5$  e  $0,03 \text{ g kg}^{-1} \text{ C}$  no solo, respectivamente) nos primeiros 5 cm de solo sob cana crua, vs. cana queimada ( $1,7$ ;  $0,12$  e  $0,06 \text{ g kg}^{-1} \text{ C}$  no solo, respectivamente), bem como o C dos ácidos fúlvicos de 5 a 20 cm ( $0,72$  contra  $0,50 \text{ g kg}^{-1} \text{ C}$  no solo).

Na área de estudo de Mendoza et al. (2000), após sete anos foi renovado o canavial e implantados os tratamentos: área colhida sem queima, renovada com e sem queima, e área colhida com queima renovada com e sem queima (Silva, 2000). Os resultados foram semelhantes, com aumento de Mg, valor T, S e H nos primeiros 10 cm, e de C org de 10 a 20 cm, na área sem queima em ambas as fases. Pinheiro et al. (2010), avaliando estoque e qualidade da MO no mesmo solo e sistemas constataram maior teor de Mg e de Corg na superfície.

Investigando propriedades químicas de solo de tabuleiro sob diferentes sistemas de colheita da cana e efeito da adição de vinhaça complementada com N, Guedes (2002) verificou na cana colhida sem queima aumento da saturação por bases (V%) ( $60$  a  $66 \%$ ) e C org ( $8,3$  a  $7,3 \text{ g kg}^{-1}$ ) comparado ao cultivo com queima ( $50$  a  $54 \%$  e  $6,4$  a  $5,5 \text{ g kg}^{-1}$  respectivamente), nos primeiros 30 cm. Já o valor H diminuiu nos primeiros 30 cm e no tratamento com  $80 \text{ kg N}$  incorporado. Por outro lado, Resende et al. (2006), estudando Luvissolo em Timbaúba-ES, não observou aumento no teor de nutrientes nas áreas com colheita da cana sem queima. Segundo esses autores, o maior rendimento de colmos na cana crua levou a maior quantidade de nutrientes exportados, logo se deve ter cautela na comparação desses resultados. Ambos os autores, comparando o tratamento cana crua com aplicação de vinhaça, encontraram aumento de Mg e K na camada de 0-10 cm.

**Tabela 3.** Estudos sobre o efeito do manejo da colheita da cana-de-açúcar sobre propriedades químicas do solo.

Referência	Propriedade química	Localização	Classe de solo <sup>1</sup>	Cultivo <sup>2</sup> (anos)	Prof. amostragem (cm)
Pinheiro et al. (2010)	Fracion. químico da MO; pH; C; Al <sup>3+</sup> ; Ca <sup>2+</sup> ; Mg <sup>2+</sup> ; K; P; N;	Linhares-ES	Argissolo Amarelo	14	0-5; 5-10; 10-20; 20-30; 30-40; 40-60; 60-80; 80-100
Windenfield. (2009)	pH; NO <sub>3</sub> -N; P; K; Ca <sup>2+</sup> ; Mg <sup>2+</sup> ; S; Na	Texas, USA	Typic Calciustolls	5	0-15
Resende et al. (2006)	pH; C; Al <sup>3+</sup> ; Ca <sup>2+</sup> ; Mg <sup>2+</sup> ; K; P; N;	Timbaúba –PE	Luvisolo	16	0-10; 10-20; 20-40; 40-60
Guedes (2002)	pH; C; Al <sup>3+</sup> ; P; K; Ca <sup>2+</sup> ; Na; Mg <sup>2+</sup> ; V%; CTC; Valor S	Conceição da Barra-ES	Argissolo Amarelo	4	0-5; 5-10; 10-20; 20-30; 30-40
Graham et al. (2002a)	C <sub>org</sub> ; C-miner.; N <sub>T</sub> ; N-miner.; pH, P; K; Ca; Mg; Na; H+Al; Al; CTC	Durban South Africa	Chromic Vertisol	59	0-2,5; 2,5-5; 5-10 10-20; 20-30
Graham et al. (2000)	pH; N; P; P <sub>org</sub> ; K; Ca <sup>2+</sup> ; Mg <sup>2</sup> ; S	Durban South Africa	Chromic Vertisol	59	0-2,5; 2,5-5; 5-10 10-20; 20-30
Mendoza et al. (2000)	Frac. MO; pH; C <sub>org</sub> ; Al; K; Ca <sup>2+</sup> ; Na; Mg <sup>2+</sup> ; S; Valor T; V%; N; P; C:N	Linhares-ES	Argissolo Amarelo	5	0-10; 10-20; 20-30
Silva (2000)	pH; C <sub>org</sub> ; Al; K; Ca <sup>2+</sup> ; Na; Mg <sup>2+</sup> ; Valor T; P; V%; Valor H; Valor S	Linhares-ES	Argissolo Amarelo	7	0-5; 5-10; 10-20; 20-30; 30-40
Mui et al. (1996)	pH; C <sub>org</sub> ; P; K; N	Ho Chi Minh, Vietnam	Argissolo Vermelho-Amarelo	3	0-20
Phan Gia Tan (1995)	pH; Al <sup>3+</sup> ; N; P; K; Ca <sup>2+</sup>	Ho Chi Minh, Vietnam	Argissolo Vermelho-Amarelo	2	0-20

Vários estudos no Brasil e do mundo mostraram melhores propriedades químicas, na camada superficial do solo, sob cultivo da cana sem queima e com deposição da palhada (Orlando Filho e Zambello, 1980; Phan Gia Tan, 1995; Mui et al., 1996; Orlando Filho et al., 1998; Graham et al., 2000; Graham et al., 2002; Wiedenfled, 2009). Principalmente em solos tropicais, cuja mineralogia de argila e elevado grau de intemperismo resultam em baixa reserva de nutrientes, a preservação da palhada da cana favorece a manutenção e o aumento da fertilidade.

### **2.6.3 Propriedades Físicas do Solo**

As propriedades físicas do solo podem ser mais estáticas como a granulometria ou mais dinâmicas, como o armazenamento e fluxo de água, ar e calor no interior do solo. Entre as mais estudadas destacam-se a textura e a agregação do solo, que definem a configuração dos poros. A porosidade é responsável por fenômenos e mecanismos tais como a retenção e o fluxo de água e ar, e, se analisada conjuntamente com a matriz do solo, gera outras propriedades associadas às relações de massa e volume das fases do sistema solo. O manejo da colheita da cana-de-açúcar com a deposição de MO sobre o solo beneficia as propriedades físicas com o aumento da estabilidade de agregados e a melhoria da estrutura do solo, favorecendo a infiltração e diminuindo o escoamento superficial de água (Cedia et al., 1999).

As propriedades estabilidade de agregados, densidade do solo, porosidade, infiltração e retenção de água, indicam o estado atual da organização estrutural do solo, sendo usadas para avaliar a variação da estrutura do solo submetido a pressões de sistemas de manejo. Cedia et al. (1999) avaliou sistemas de corte da cana, com e sem queima da palha antes da colheita em solo de tabuleiro (Tabela 4) e após seis anos de cultivo. Segundo os autores, a estabilidade de agregados, densidade do solo, porosidade total e distribuição de poros pouco modificaram na camada de 0 a 5 cm, nas áreas de cana crua. Já nas de cana com queima houve desagregação e individualização das partículas, aumento da densidade e diminuição da microporosidade e da porosidade total, afetando a velocidade de infiltração de água no solo.

O efeito negativo da colheita da cana com queima sobre as propriedades físicas é relacionado à menor quantidade de material vegetal adicionada ao solo. A manutenção da palhada promove maior interação entre as frações orgânicas e minerais, bem como a proteção da superfície do solo contra a erosão hídrica. Por outro lado, alguns trabalhos mostraram que o intenso tráfego de colheitadora e do veículo de transbordo usados na colheita da cana com e sem a queima, porém mecanizada, pode compactar e desorganizar a estrutura do solo, comprometendo as propriedades físicas e afetando a infiltração e retenção de água no solo (Wood, 1991; Villegas et al., 1998; Braunack & Peatey, 1999; Souza et al., 2005; Silva et al., 2005; Leme Filho, 2009). Porém, a cobertura do solo com os resíduos vegetais da colheita pode contrapor-se ao efeito da compactação pelo maquinário e favorecer a estabilidade estrutural (Shukla et al., 2003; Lado et al., 2004; Braidia et al., 2006). Braidia et al. (2006) também afirmam que, pela baixa densidade associada à susceptibilidade à deformação e elasticidade, a palhada da cana depositada sobre o solo atenua as cargas aplicadas e dissipa em até 30 % a energia de compactação.

**Tabela 4.** Estudos sobre o efeito do manejo de colheita da cana-de-açúcar em propriedades físicas do solo.

<b>Referência</b>	<b>Propriedade física<sup>1</sup></b>	<b>Localização</b>	<b>Classe de solo<sup>2</sup></b>	<b>Cultivo<sup>3</sup> (anos)</b>	<b>Prof. de amostragem (cm)</b>
Pinheiro et al. (2010)	Frac. Físico MO; DS	Linhares-ES	Argissolo Amarelo	14	0-5; 5-10; 10-20; 20-30;30-40; 40-60; 60-80; 80-100
Leme Filho (2009)	TS; DS; US; A; AAS	Piracicaba-SP	Latossolo Vermelho	1	0-20; 20-40; 40-60; 60-80
Santana et al. (2009)	AEA	Boca da Mata-AL	Argissolo Amarelo	CQ – 20; CC – 3	0-10
Luca et al. (2008)	EA; DS	Pradópolis/Matão Serrana – SP	Latossolo Vermelho Neossolo Quartzarênico Argissolo Vermelho – Amarelo	CQ – 50; CC – 3	0-5; 5-10; 10-20; 20-40
Szackács (2007)	EA; DS	Goianésia -DF Pradópolis/ Ourinhos – SP	Latossolo Vermelho Latossolo Roxo	CQ-6,3,4 CC – 33 E >15	0-5; 5-10; 10-20; 20-30; 30-40; 40-50; 50-60; 60-70; 70-80; 80- 90; 90-100
Souza et al. (2006)	EA; DS; P; RSP; US	Pradópolis-SP	Latossolo Vermelho	CQ – 28; CC – 10	0-10; 10-20; 20-30; 30-40
Resende et al. (2006)	DS	Timbaúba –PE	Luvissolo	16	0-10; 10-20; 20-40; 40-60
Souza et al. (2005)	EA; DS; P; RSP; US	Jaboticabal – SP	Latossolo Vermelho- Amarelo	CQ – 30; CC – 3	0-10; 10-20; 20-30; 30-40
Graham et al. (2002a)	EA	Durban – South Africa	Chromic Vertisol	59	0-2,5; 2,5-5; 5-10; 10-20; 20-30
Graham et al. (2002b)	Frac. Físico MO	Durban – South Africa	Chromic Vertisol	59	0-2,5; 2,5-5; 5-10; 10-20; 20-30
Dominy et al. (2002)	EA	Glenro e Hutton South Africa	Ochric Cambisol, Rhodic Ferrasol	CQ-30 CC-50	0-10
Blair (2000)	EA	Mackay – Austrália	Chromic Luvisol	5	0-10
Ceddia et al. (1999)	EA; DP; DS; P; I; CH	Linhares-ES	Argissolo Amarelo	6	0-5; 5-10; 10-20; 20-30; 30-40

<sup>1</sup> Estabilidade de agregados (EA) e agregados estáveis em água (AEA); densidade das partículas (DP); densidade do solo (DS); porosidade (P); infiltração (I); condutividade hidráulica (CH); temperatura do solo (TS); umidade do solo (US); aeração (A); resistência do solo a penetração (RSP); escoamento superficial (ES); fluxo de água no solo (FAS); armazenamento de água no solo (AAS); e fracionamento físico da MO (Frac. Físico MO). <sup>2</sup> Classificação dos solos no SiBCS (Embrapa 2006) ou FAO (1998).

<sup>3</sup> Duração do ciclo de cultivo da cana crua (CC) e queimada (CQ) no estudo.

Perturbações no solo em decorrência da forma de colheita também foram avaliadas através da qualidade da matéria orgânica. Pinheiro et al. (2010) avaliaram os cultivos com e sem queima da cana, com base no fracionamento físico da matéria orgânica e constataram que a massa de fração leve livre foi significativamente maior na camada mais superficial do solo (0-5 cm) no cultivo sem queima, comparado ao queimado. Mas segundo os autores, a presença de fragmentos de carvão na fração leve livre influenciou a dinâmica desta fração no solo estudado. O fracionamento físico envolve a separação densimétrica e granulométrica e várias etapas de dispersão do solo. Tais frações são denominadas fração leve livre, leve oclusa (que correspondem a MOS não complexada) e fração pesada (que inclui os complexos organo-mineral) (Christensen, 1992; Pinheiro, 1996). O conteúdo da fração leve livre no solo é dinâmico, refletindo mudanças no estoque e no grau de transformação da matéria orgânica, que ocorrem num pequeno espaço de tempo, induzidas pelo manejo do solo ou uso da terra. Dessa forma fração leve também serve como um indicador das conseqüências das mudanças do manejo no solo. A transformação da fração leve livre é ligada a macroagregação e também aos mecanismos de proteção física (Christensen, 1996).

A maioria dos estudos conclui que a eliminação da queima da palhada aumenta a quantidade de MO no solo, favorecendo as propriedades físicas, como relatado por Cerri et al. (1991); Blair (2000); Dominy et al. (2002); Graham et al. (2002a); Graham et al. (2002b); Souza et al. (2005); Souza et al. (2006); Szakács (2007); Luca et al. (2008); Leme Filho (2009); Sant'Anna et al. (2009). Esses autores ressaltam a importância de preservar a palhada em lavouras de cana para manutenção e melhoria das propriedades físicas. Esse aspecto é ainda mais importante em solos de tabuleiros, em que a compactação associada ao caráter coeso (adensamento natural) pode comprometer as suas características físico-hídricas e reduzir a eficiência dos sistemas de produção agrícola da cana-de-açúcar.

A ocorrência de horizontes coesos tem sido objeto de estudo, com o intuito de conhecer e elucidar este comportamento comum em vários solos no território brasileiro (Ribeiro, 1991; Cintra, 1997; Ribeiro, 2001; Araújo Filho, 2001; Libardi, 2002; Cintra et al., 2004; Lima et al., 2004; Fonseca et al., 2007; Correia et al., 2008). Outras pesquisas mostram que sistemas de uso e manejo contínuo dos solos de tabuleiro com a monocultura da cana-de-açúcar, principalmente com preparo intensivo do solo e prática da queima na colheita podem causar alterações na estrutura original bem como nas propriedades físicas conforme relatado por (Nascimento et al., 2004; Silva et al., 2005; Silva e Cabeda, 2006; Vasconcelos et al 2010), conduzindo a um acelerado processo de degradação.

O caráter coeso presente nos horizontes minerais subsuperficiais de grande parte dos solos de tabuleiros, diz respeito ao aumento acentuado na coesão entre suas partículas. Esta característica resulta em um elevado grau de adensamento, o que dificulta a infiltração e o transporte de água no perfil do solo, prejudicando a aeração e impedindo o aprofundamento radicular, que se concentra na camada superficial do solo (Jacomine, 1996). Por isso estratégias de manejo que visam melhorar ou recuperar a estrutura, como por exemplo, a deposição de matéria orgânica, é fundamental para reduzir a degradação, bem como garantir uma maior sustentabilidade aos sistemas de produção agrícolas e ao ambiente de tabuleiros.

## 2.7 DISCUSSÃO E DEMANDAS DE FUTURAS PESQUISAS

A maior parte dos estudos citados conclui que adição de matéria orgânica na lavoura de cana de açúcar, pela preservação da palhada na colheita, afeta positivamente as propriedades biológicas, químicas e físicas, melhorando a qualidade do solo. Porém, algumas pesquisas não indicaram diferença entre os sistemas, em razão do curto tempo de mudança entre as formas de colheita, sugerindo que os efeitos nas propriedades edáficas surgem a médio ou longo prazo. As alterações positivas nas propriedades biológicas se concentraram na camada superficial, nos primeiros 10 cm, o que está relacionado à maior atividade biológica e ao menor revolvimento (Tabela 2). Já para as propriedades químicas e físicas foram observadas respostas positivas nos primeiros 20 cm, tanto na fertilidade como na qualidade da MO do solo (Tabelas 3 e 4). Entretanto, em geral os estudos se limitaram a camada arável. Apenas três experimentos, um em tabuleiro, investigaram propriedades físicas e químicas em camadas além de 60 cm.

Além do efeito direto da deposição de resíduos vegetais com aumento no teor de Corg nas áreas de cana crua, em longo prazo aumentaram os teores de P, K, Ca e Mg nos primeiros 20 cm. Foi relatado redução nos teores de Al e foram observados níveis de pH mais adequados para a cultura, com destaque para o manejo de colheita com e sem queima em diferentes solos de tabuleiro (Tabelas 5, 6 e 7). Portanto, além do benefício ambiental, o sistema de colheita da cana crua pode reduzir o volume de corretivos e fertilizantes na renovação do canavial.

A estabilidade de agregados e a densidade solo foram às propriedades físicas mais estudadas (Tabela 4). De forma geral, a estabilidade de agregados aumentou na camada superficial, pelo acúmulo de MO da palhada depositada, e também aumentou a densidade do solo nos estudos com colheita mecanizada. O mesmo para a estabilidade de agregados nos solos de tabuleiro, porém sem efeito sobre a densidade do solo nas áreas sem queima (Tabelas 5 e 6). Todavia, a compactação foi verificada em solos mais argilosos, o que não é comum nos tabuleiros, em geral de textura média a arenosa em superfície. Por outro lado, predomina nesse ambiente a colheita manual, apenas em um experimento (Sant'Ana et al., 2009) a cana foi colhida com máquina.

Analisando o conjunto das pesquisas em tabuleiros, as propriedades biológicas foram as mais estudadas, seguidas pelas químicas e físicas. Ainda, os parâmetros físicos (Tabela 5 e 6) avaliados são insuficientes para suprir a carência de informações sobre o efeito da colheita mecanizada e sem queima da cana, essenciais para viabilizar esse sistema de colheita e atingir alta produtividade da lavoura nos tabuleiros costeiros. Há necessidade de pesquisas sobre o efeito da mecanização na compactação do solo e na qualidade física de solos de tabuleiros.

Exceto pelas propriedades biológicas, mais relevantes nos primeiros centímetros do solo, em especial quando o revolvimento é menor, as informações sobre efeitos do manejo da colheita em propriedades químicas e físicas abaixo da camada arável do solo são insuficientes. Apesar de resultados que mostram que após 30 cm de profundidade a influência dos sistemas de colheita da cana e da cobertura da palhada é menor, em solos de tabuleiros o horizonte coeso pode ser o principal fator influenciando a produção da cana-de-açúcar. Assim, estudos sobre os efeitos do sistema mecanizado e sem queima no manejo da colheita da cana sobre as camadas mais profundas do solo são relevantes. Estudos com maior tempo de adoção do sistema sem queima resultaram em respostas positivas significativas. Porém, na sua maioria, o cultivo sem queima foi avaliado por um curto tempo. Com isso, são necessários experimentos onde ciclos sucessivos da cana crua e mecanizada possam ser investigados, em longo prazo e nos solos de tabuleiros.

**Tabela 5.** Valores de propriedades químicas e físicas de solo de tabuleiro costeiro sob diferentes manejos de colheita. Destilaria LASA, Linhares, ES.

Manejo de Colheita	Prof Cm	pH H <sub>2</sub> O	C <sub>org</sub> g kg <sup>-1</sup>	Al	-----cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----			P mg kg <sup>-1</sup>	Ds Mg m <sup>-3</sup>	EA mm	Poros %	CH m <sup>3</sup> m <sup>-2</sup> s <sup>1</sup> x 10 <sup>-3</sup>	
					Ca	Mg	K						
Cana Crua	0-10	5,6-5,4	14,4-9,7	0-02	3,56-1,32 <sup>a</sup>			0,34-0,14	6,8-2,8 <sup>b</sup>	1,36-1,59	4,5-4,1	42-39	1,07-1,01
		6,4	9,9	0,03	1,4	1,1	0,14	4,4	1,50-1,59	-	-	-	-
		6,0-5,7	9,1-12,2	0,10-0,15	1,5-1,3	1,2-0,9	2,05-1,11	10,0-7,5	-	-	-	-	-
	10-20	5,3	7,8	0,3	0,96 <sup>a</sup>			0,07	2,0 <sup>b</sup>	1,63	4,1	38	1,09
		6,5	7,8	0,10	0,9	0,8	0,12	2,8	1,56	-	-	-	-
		5,9	7,0	0,23	1,1	0,8	0,88	5,9	-	-	-	-	-
	20-40	5,5-5,6	10,2-7,2	0,2-0,3	1,18-1,24 <sup>a</sup>			0,05	2,4-3,2 <sup>b</sup>	1,62-1,56	3,8	41-40	1,33-0,97
		6,1	5,7-6,5	0,05-0,1	0,8-0,9	0,4-0,5	0,06-0,05	0,9-1,1	1,55-1,50	-	-	-	-
		5,6-5,7	5,0	0,17-0,28	1,0-1,1	1,1	0,69-0,55	5,2-4,9	-	-	-	-	-
Cana Queimada	0-10	5,7-5,1	9,2-8,8	0,1-0,3	2,1-0,9 <sup>a</sup>			0,31-0,18	9,6-3,4 <sup>b</sup>	1,43-1,59	3,5-3,6	38	1,23-1,24
		6,4	7,2	0,05	1,2	0,7	0,17	11,0	1,60	-	-	-	-
		6,0-5,8	9,2-9,6	0,1	1,2-1,4	0,6-1,1	1,6-0,9	9,6-6,6	-	-	-	-	-
	10-20	5,0	7,6	0,4	0,8 <sup>a</sup>			0,14	3,0 <sup>b</sup>	1,61	4,0	38	1,01
		6,5	7,9	0,10	0,8	0,6	0,16	3,7	1,57	-	-	-	-
		5,6	7,5	0,3	0,9	1,4	0,6	6,5	-	-	-	-	-
	20-40	5,0	7,7-9,1	0,4-0,3	0,8-1,0 <sup>a</sup>			0,14-0,09	3,3-2,8 <sup>b</sup>	1,57-1,59	4,1-4,2	41,5	1,06-0,96
		6,0-6,1	6,4-8,0	0,06-0,12	0,7	0,4	0,10-0,06	1,7-1,4	1,52-1,46	-	-	-	-
		5,8	3,8-4,8	0,3-0,4	1,0	1,0-0,8	0,6-0,7	3,9-2,8	-	-	-	-	-

Ds = densidade do solo; EA = estabilidade de agregados; CH = condutividade hidráulica.

a - valores referentes a soma de Ca + Mg / b - valor em g.dm<sup>3</sup>

Fontes consultadas: Pinheiro et al. (2010); Mendoza et al. (2000); Silva (2000); Ceddia et al. (1999).

**Tabela 6.** Valores de propriedades químicas e físicas de solo de tabuleiro costeiro sob diferentes manejos de colheita. Usina Cruangi, Timbaúba, PE

<b>Manejo de Colheita</b>	<b>Prof</b> cm	<b>pH</b> H <sub>2</sub> O	<b>C<sub>org</sub></b> g kg <sup>-1</sup>	<b>Al</b>	<b>Ca</b> -----cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----	<b>Mg</b>	<b>K</b>	<b>P</b> mg kg <sup>-1</sup>	<b>Ds</b> Mg m <sup>-3</sup>	<b>EA</b> mm	<b>Poros</b> %	<b>CH</b> m <sup>3</sup> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> x 10 <sup>-3</sup>
Cana Crua	0-10	4,6	13,3	0,7	2,8	1,5	0,49	16,9	1,31	-	-	-
	10-20	4,4	12,8	0,8	2,5	1,1	0,30	11	1,42	-	-	-
	20-40	4,3	10,6	0,8	3,1	1,0	0,17	9	-	-	-	-
Cana Queimada	0-10	4,7	11,6	0,6	2,7	1,3	0,56	12,3	1,36	-	-	-
	10-20	4,4	11,0	0,9	2,4	1,0	0,31	7,0	1,41	-	-	-
	20-40	4,2	10,39	0,7	3,1	1,1	0,17	13	-	-	-	-

Ds = densidade do solo; EA = estabilidade de agregados; CH = condutividade hidráulica.

Fonte consultada: Resende et al. (2006)

**Tabela 7.** Valores de propriedades químicas de solo de tabuleiro costeiro sob diferentes manejos de colheita. Destilaria Alcon Conceição da Barra, ES

<b>Manejo de Colheita</b>	<b>Prof</b> cm	<b>pH</b> H <sub>2</sub> O	<b>C<sub>org</sub></b> g kg <sup>-1</sup>	<b>Al</b>	<b>Ca</b> -----cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----	<b>Mg</b>	<b>K</b>	<b>P</b> mg kg <sup>-1</sup>
Cana Crua	0-10	6,0-5,9	8,3-8,2	0,0	1,3-1,5	0,7-0,5	0,2-0,1	6,0-4,0
	10-20	6,0	8,1	0,0	1,5	0,7	0,1	4,0
	20-40	5,0-6,2	7,3-4,6	0,0	1,6-1,5	0,7-0,5	0,09-0,08	3,0-4,0
Cana Queimada	0-10	5,8-5,7	6,7-6,6	0,2	1,2	0,6-0,7	0,3-0,1	6-5,
	10-20	5,7	5,7	0,3	1,2	0,6	0,1	4
	20-40	5,9-5,8	5,8-4,1	0,3-0,4	1,2-1,1	0,6	0,1	5-3

Ds = densidade do solo; EA = estabilidade de agregados; CH = condutividade hidráulica.

Fonte consultada: Guedes (2002)

A mudança do sistema de produção da cana com colheita sem queima deverá se dar completamente em curto prazo. Cabe avaliar as possíveis alterações desse sistema na produção da cultura e desenvolver novas tecnologias, principalmente para uso adequado de fertilizantes minerais e redução de compactação do solo. A presença da palhada na superfície do terreno dificulta a adubação nitrogenada, com potencial de maiores perdas de amônia por volatilização principalmente quando se usa uréia aplicada em superfície. Estudos sobre fontes, doses e formas de aplicação de fertilizantes em diferentes condições edafoclimáticas, devem ser intensificados, principalmente nos solos de tabuleiros, com maior carência de dados. Também são poucos os estudos sobre o aproveitamento do N mineral aplicado sobre resíduos da cana na colheita mecanizada, bem como a dinâmica de decomposição da palha e a relação com a nutrição da cana em longo prazo (Franco et al., 2011; Fortes et al., 2011). A reciclagem de nutrientes no sistema de produção da cana de açúcar, além de fundamental para a sustentabilidade do setor sucroenergético é indispensável à redução dos impactos ambientais e das emissões atmosféricas de gases de efeito estufa. É pequeno o uso dos resíduos vegetais, carecendo pesquisas que comprovem e impulsionem tal prática, agregando valor energético, biológico e nutricional.

Um desafio para a lavoura de cana-de-açúcar no Brasil tem sido a adaptação às mudanças no sistema de produção sem diminuir sua produtividade. Conhecer o efeito do manejo agrícola sobre os atributos edáficos é relevante para o desempenho eficiente das funções do sistema solo, com tecnologias econômica e ambientalmente sustentáveis.

### **3 CAPÍTULO II:**

## **PRODUTIVIDADE E ATRIBUTOS TECNOLÓGICOS DA CANA- DE-AÇÚCAR (CANA SOCA) SOB DOSES DE NITROGÊNIO EM SISTEMA DE COLHEITA MECANIZADA, SEM QUEIMA DA PALHADA**

### 3.1 RESUMO

A queima dos canaviais antes da colheita manual é prática comum na região dos Tabuleiros Costeiros. Porém a colheita mecânica sem queima está aumentando nos últimos anos. As mudanças no sistema de produção da cana-de-açúcar passando à colheita mecanizada sem o uso do fogo têm exigido uma reformulação nas tecnologias de manejo da cultura, principalmente quanto à fertilização nitrogenada de soqueiras. Nesse estudo foram realizados dois experimentos em campo para avaliar o efeito da adubação nitrogenada a base de sulfato de amônio na cana crua. Os parâmetros medidos foram a produtividade de colmos, acúmulo de palhada, relação entre número e peso de colmo, extração e acúmulo de nutrientes nos colmos frescos e na palhada, e na qualidade tecnológica da matéria prima da cana de açúcar colhida sem queima. O estudo foi realizado em áreas pertencentes à destilaria de álcool LASA no município de Linhares – Estado do Espírito Santo, com cana de primeira soca sem queima, variedades RB867515 e RB918639, em ARGISSOLO AMARELO textura arenosa/média. Nos dois experimentos, os tratamentos consistiram de cinco doses de N: 0; 80; 100 ; 120 e 160 kg ha<sup>-1</sup> de N, arranjados em um desenho experimental de blocos casualizados com quatro repetições. As doses foram distribuídas em cada parcela nas linhas após o corte mecânico da cana, sem queima prévia da palhada, em setembro de 2009 e 2010, sob canavial renovado em 2008 e 2009 (experimentos 1 e 2 respectivamente). Houve efeito significativo das doses de N sobre a produtividade de colmos para a dose de 100 kg N ha<sup>-1</sup>, que foi considerada ótima para as condições do estudo, mas que está acima da dose média (70-80 kg N ha<sup>-1</sup>) usada para promover aumentos na produtividade em sistema cana queimada nesta região. A associação entre número e peso de colmos foi significativa para as doses de 80 kg N ha<sup>-1</sup> (ambas as variedades) e 100 kg ha<sup>-1</sup> (somente a variedade RB91 8639). Não houve efeito significativo das doses de N sobre a qualidade tecnológica da matéria prima no primeiro ciclo de cultivo estudado em sistema sem queima. Entretanto, no segundo ciclo a fertilização afetou a Pol, ATR, PA e LPA, quando aplicada sobre a palhada na forma de sulfato de amônio. A extração dos nutrientes N, P e K, foram significativas para as doses de N, apresentando resposta quadrática, todavia as variações na extração dos macronutrientes foram determinadas pelos rendimentos de colmos. Os teores de macronutrientes da palhada de cana não foram afetados pelas doses de N. Estes resultados sugerem que a adubação nitrogenada da cana crua mecanizada requer recomendação distinta ao do sistema com uso da queima antes da colheita.

**Palavras-chave:** Sulfato de amônio. Colheita de Cana crua. Macronutrientes.

### 3.1 ABSTRACT

In sugar cane plantations in Brazilian coastal tablelands, the crop is usually burnt prior to manual harvesting. However there has been a recent increase in the mechanical harvesting of un-burnt cane. The changes in the production system to mechanized harvesting of un-burnt cane demand alterations in the management technologies, mainly related to nitrogen fertilization of the ratoon cane. In this study two field experiments were set to evaluate the effect of N fertilization applied as ammonium sulphate in the sugarcane plant. The measured parameters were the stalk productivity; the accumulation of trash; the relationship between the number and weight of stalks; the extraction and accumulation of nutrients in the stalks, fresh and trash; and the technological quality of raw material from the cane sugar harvested without burning. This study was conducted in a commercial plantation of the LASA distillery, in the municipality of Linhares, Espírito Santo State. The cane was of first ratoon without burning, varieties RB 86 7515 and RB 91 8639, and the soil is a Xanthic Udult soil (weathered soil) with sandy over medium texture. The two experiments have a randomized blocks design with the control (no N) and four treatments (80, 100, 120 and 160 kg N ha<sup>-1</sup>) in four replicates. The cane plantation was renewed in 2008 and 2009 (experiments 1 and 2, respectively), and the N dosages were added in each parcel and in the crop lines, in September 2009 and November 2010, after mechanically cutting the sugar cane without previous burning. Nitrogen dosages showed a significant effect in the productivity of stalks, with the highest productivity at the 100 kg N ha<sup>-1</sup> rate, which was considered the optimum dose in the study but is higher than the mean rates (70-80 kg N ha<sup>-1</sup>) used to promote the highest productivity in burning systems in his region. The relationship between the number and weight of stalks was significant for the 80 kg N ha<sup>-1</sup> (both varieties) and 100 kg N ha<sup>-1</sup> (only the RB 91 8639 variety) dosages. There was no significant effect of N rates on the technological quality of the raw material in the first cane planting in the system without burning. However, in the second cycle the N fertilization affected the Pol, ATR, PA and LPA, when applied over the trash in the form of ammonium sulphate. The extraction of N, P and K were significant for the N levels, showing a quadratic response, but the variations in the extraction of these macronutrients were determined by the stalk yield. The content of the macronutrients of the cane trash was not affected by N dosages. These results suggest that the N fertilization of sugar cane in mechanized systems without burning requires a distinct recommendation from the burning cane systems.

**Key words:** Ammonium sulphate. Green cane harvesting. Macronutrients.

### 3.2 INTRODUÇÃO

De todos os nutrientes minerais, o N é, em geral, quantitativamente o mais importante para o crescimento vegetal. O suprimento de N às raízes está sujeito a consideráveis variações sazonais, dependendo da taxa de mineralização do N no solo, da adição de adubo nitrogenado e das condições ambientais. Por essa razão, as plantas têm desenvolvido mecanismos e estratégias, não somente para adquirir o nutriente de forma eficiente, mas também para utilizá-lo internamente de forma econômica (Millard, 1988). Em cana de açúcar, o N é o segundo nutriente mineral de maior extração, ficando atrás apenas do potássio (Orlando Filho et al., 1999). Para uma produção de 100 Mg ha<sup>-1</sup> de colmos a extração deste nutriente pela cultura pode variar de 100 a 300 kg ha<sup>-1</sup> (Robertson; Thorburn, 2007; Trivelin et al., 2002b).

A prática da colheita da cana crua ou colheita sem queima e mecanizada vêm sendo adotada pelas fazendas do Brasil ao longo dos últimos 10 anos para cumprir a legislação existente, que proíbe a queima de resíduos agrícolas, a fim de melhorar a qualidade do ar e dos solos. Pesquisas recentes indicam que aproximadamente 70 % das plantações da região centro-sul, maior produtora de cana do Brasil, são colhidas sem queima (UNICA, 2012).

Na região dos tabuleiros costeiros este percentual está muito abaixo do esperado, apesar da ocorrência de áreas com aptidão para a colheita mecanizada. A adoção deste método de cultivo resulta no acúmulo de 10 to 20 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de resíduos (folhas secas, pontas e pedaços de colmos) sobre a superfície do solo, os quais contribuem para o sequestro de carbono, preservação matéria orgânica e ciclagem de nutrientes nos agros-ecossistemas (Wood, 1991; Ball-Coelho et al., 1993; Thorburn et al., 2012). Entretanto, a recomendação da fertilização nitrogenada tem sido baseada nos sistemas com queima da cana, por ser o método de manejo da palhada dominante nos últimos anos.

O novo sistema exige, portanto, reformulação nas tecnologias de manejo da cultura, principalmente quanto à fertilização nitrogenada de soqueiras. A palhada acumulada na superfície do solo possui em média 390 a 450 g kg<sup>-1</sup> de C e 4,6 a 6,5 g Kg<sup>-1</sup> de N, o que corresponde a relação C:N bem acima de 20 (aproximadamente 100:1), a qual, influencia de modo direto na baixa recuperação do N-fertilizante, em razão da sua elevada imobilização pelos microorganismos do solo (Meier et al., 2006). Outra razão são as perdas de N por volatilização principalmente quando usada uréia aplicada em superfície, que podem superar 60% da dose aplicada em decorrência da elevada taxa de hidrólise enzimática (Trivellin et al., 2002; Freney et al., 1994).

Constata-se, portanto, necessidade de fontes de N que apresentem menores perdas, pois o acúmulo de palha dificulta a incorporação do adubo no solo (Trivellin et al., 1997). Trabalhos realizados nos últimos anos com diferentes fontes de N têm mostrado perdas reduzidas por volatilização de N-NH<sub>3</sub> mediante o uso de fontes não amídicadas, como o sulfato, nitrato ou cloreto de amônio, levando conseqüentemente a melhores resultados de produtividade da cultura (Costa et al., 2003; Vitti et al., 2007; Vieira et al., 2009).

Embora sejam claros os benefícios que os macros e micronutrientes promovem na qualidade e quantidade de cana produzida, no caso do N, compreende-se, que o manejo adequado da adubação nitrogenada é um tópico de grande importância, para que não haja prejuízos na relação custo/benefício, nem ambientais (acidificação do solo, liberação de gases do efeito estufa, poluição de lagoas e açudes), ou à saúde humana, através da contaminação de mananciais hídricos por nitrato (Vendramine et al., 2007).

Em atenção às considerações anteriores, este trabalho parte da hipótese de que o período de transição de cultivo da cana queimada para cana crua conduzirá a um aumento da

necessidade de N-fertilizante em cana soca devido à maior imobilização do N em função da alta relação C:N da palhada.

Para testar essa hipótese foi instalado experimento, com o objetivo de avaliar qual dose do adubo nitrogenado, na forma de sulfato de amônio, apresentará melhor resposta de produtividade de colmos, acúmulo de palhada, extração e acúmulo de nutrientes nos colmos frescos e na palhada e na qualidade tecnológica da matéria prima da cana de açúcar. O estudo foi conduzido no ambiente de tabuleiro e nas condições edafoclimáticas da área experimental da destilaria LASA, no Município de Linhares, ES.

### 3.3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.3.1 Área Experimental

Dois experimentos com área total de 2240 m<sup>2</sup> em cada, foram instalados em áreas comerciais pertencente à destilaria de álcool LASA no município de Linhares – Estado do Espírito Santo (Latitude 19°18' S, Longitude 40°19' W). O primeiro experimento foi instalado em canavial renovado em 2008 com a variedade RB867515, e conduzido de setembro de 2009 a agosto de 2010, ou seja, apenas durante o ciclo da primeira soqueira. O segundo experimento foi instalado em canavial renovado em 2009 com a variedade RB918639 e conduzido de novembro de 2010 a setembro de 2011, durante o ciclo da primeira soca.

De acordo com a divisão regional do Estado, o município de Linhares faz parte da zona fisiográfica denominada Baixo Rio Doce (EMBRAPA/SNLCS, 1978). Esta região se caracteriza pela ocorrência de extensas áreas de relevo suave ondulado onde uma série de baixos platôs compõe o chamado “relevo tabuliforme”. As áreas com declividade pouco acentuada (raramente são superiores a 3%) são ocupadas por um ARGISSOLO AMARELO, textura arenosa/média (Ravelli Neto e Lima, 1987). Anteriormente à implantação dos experimentos foram realizadas duas colheitas da cana-de-açúcar sem a queima da palhada.

O sistema de preparo do solo adotado foi o cultivo mínimo, ou seja, dessecação da soqueira anterior com herbicida e uma abertura de sulco em sequência (Copersucar, 1995). Os cultivares de cana-de-açúcar RB867515 e BR918639 apresentam maturação média e boa brotação de soqueira sob palhada (RIDESA, 2010).

Antes da instalação dos experimentos foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm. Os resultados das análises químicas para as duas profundidades são apresentados na Tabela 1:

**Tabela 1.** Caracterização química do solo (Destilaria LASA) em Linhares, ES.

Prof. (m)	H + Al	Al (cmolc/dm <sup>3</sup> )	Ca	Mg	CTC	K <sup>+</sup> (mg/dm <sup>3</sup> )	P <sup>(*)</sup>	M.O <sup>(**)</sup> (g/kg)	pH (água)
<sup>1</sup> 0,0-0,2	2,2	0,0	1,4	0,4	4,1	17	9	12,9	5,9
<sup>1</sup> 0,2-0,4	2,4	0,2	0,9	0,3	3,7	15	6	8,3	5,5
<sup>2</sup> 0,0-0,2	2,2	0,4	0,5	0,3	3,2	4,8	4,2	30,34	5,4
<sup>2</sup> 0,2-0,4	2,6	0,5	0,5	0,3	3,5	3,7	3,9	28,78	5,2

<sup>(1)c</sup> <sup>(2)</sup> Amostragens realizada em **setembro de 2009 e 2010**. (\*) P disponível (Mehlich-1). (\*\*\*) C orgânico (Walkey-Black) x 1,72.

#### 3.3.2 Tratamentos e Condições Ambientais

Foram avaliadas 5 (cinco) doses de nitrogênio em soqueiras: 0 (testemunha), 80, 100, 120 e 160 kg ha<sup>-1</sup> de N. Diante da baixa eficiência de uso da uréia em função do aumento das perdas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização em áreas de cana colhida crua, a fonte de N foi o sulfato de amônio. As respectivas doses (tratamentos) foram distribuídas em cada parcela manualmente sobre a palha residual da colheita e a 0,2 m da linha de cana-de-açúcar, juntamente com a dose de potássio (100 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O), na forma de cloreto de potássio e 40 kg ha<sup>-1</sup> de micronutrientes (FTE BR12), após o corte mecânico da cana crua.

Os cinco tratamentos com quatro repetições foram estabelecidos segundo delineamento experimental de blocos ao acaso. Cada unidade experimental (parcela) tinha 70 m<sup>2</sup> (5 linhas com 10 m, espaçadas 1,4 m). Para coleta de amostras foi tomada a parte central (parcela útil), desconsiderando a primeira e a última linha e a distância de 2 m no início e fim de cada linha (Figura 1).

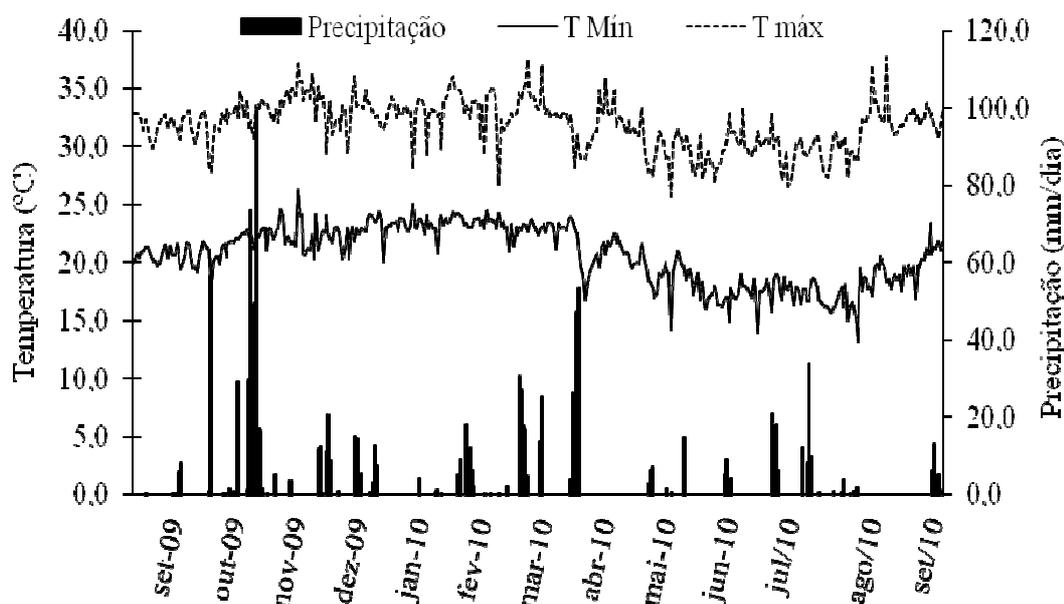
<b>RUA</b>	<b>BORDADURA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>BLOCO</b>		
		<b>T1</b>	<b>T5</b>	<b>T2</b>	<b>T4</b>	<b>T3</b>		<b>1</b>	
								<b>L1</b>	<b>BLOCO 1</b>
								<b>L2</b>	
								<b>L3</b>	
								<b>L4</b>	
								<b>L5</b>	
		<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>		<b>L1</b>	<b>BLOCO 2</b>
		<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>		<b>L2</b>	
								<b>L3</b>	
								<b>L4</b>	
								<b>L5</b>	
		<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>16</b>		<b>L1</b>	<b>BLOCO 3</b>
		<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T1</b>	<b>T5</b>	<b>T4</b>		<b>L2</b>	
								<b>L3</b>	
								<b>L4</b>	
								<b>L5</b>	
		<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>		<b>L1</b>	<b>BLOCO 4</b>
		<b>T5</b>	<b>T4</b>	<b>T3</b>	<b>T2</b>	<b>T1</b>		<b>L2</b>	
								<b>L3</b>	
					<b>L4</b>				
					<b>L5</b>				

**Figura 1.** Croqui da área experimental: T1 = Controle absoluto; T2 = 80 kg de N; T3 = 100 kg de N; T4 = 120 kg de N e T5 = 160 kg de N.

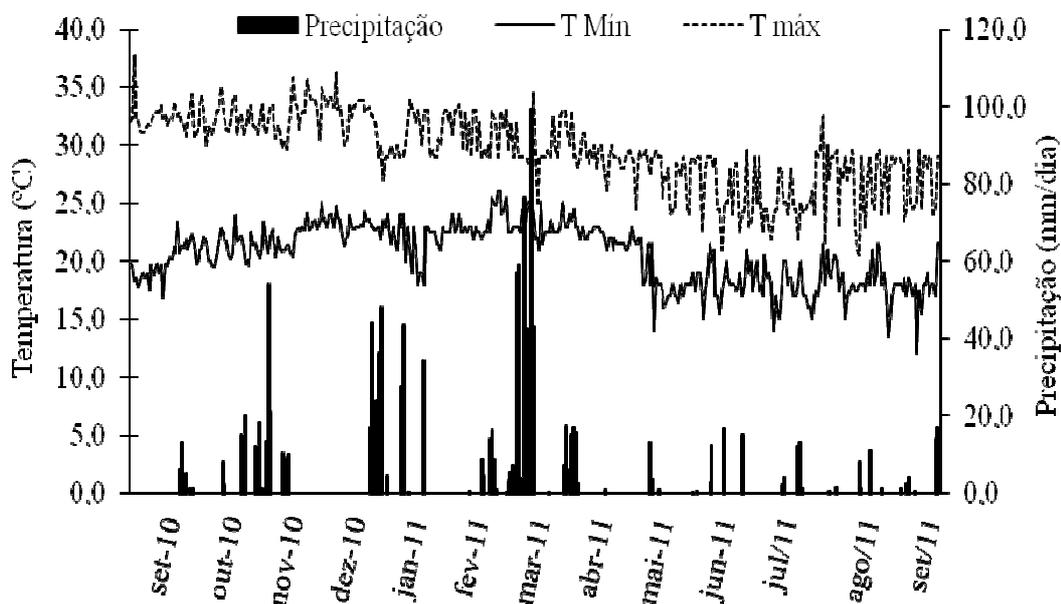
O primeiro experimento foi colhido 11 meses após o corte anterior (agosto de 2010) e o segundo experimento também aos 11 meses após o corte anterior (setembro de 2011), respectivamente. O procedimento para colheita foi o mesmo nas duas áreas. Durante a colheita foram amostradas 20 parcelas de cada experimento obtendo-se as plantas de cana-de-açúcar em duas áreas equivalentes a 1,0 m linear cada por parcela, e o material vegetal foi separado em folhas secas, ponteiros e colmos. Após a amostragem, a cana-de-açúcar foi colhida com colheitadeira do tipo esteira e a palhada picada foi depositada sobre o solo.

Durante os dois ciclos da cultura (primeiras socas) foram medidas a pluviosidade, e a temperatura máxima e mínima, para auxiliar na explicação de possíveis diferenças de respostas dos tratamentos. Os dados foram obtidos junto ao Posto Meteorológico da destilaria LASA, distante aproximadamente 3,0 e 5,0 km das áreas experimentais.

A distribuição das chuvas e as flutuações de temperaturas máximas e mínimas do ar, entre os meses de setembro de 2009 a setembro de 2011, são apresentadas nas Figuras 2 e 3.



**Figura 2.** Valores diários de temperatura máxima e mínima e precipitação durante os meses de setembro de 2009 a setembro de 2010.



**Figura 3.** Valores diários de temperatura máxima e mínima e precipitação durante os meses de setembro de 2010 a setembro de 2011.

### 3.3.3 Variáveis Quantificadas

#### a) Produtividade de colmos; acúmulo de palha e ponta; e relação peso de colmos e número de colmos de cana-de-açúcar

Por ocasião das colheitas, foram determinados o peso dos colmos, palha (folhas secas e frescas) e pontas, para estimar a produtividade de colmos ( $\text{Mg ha}^{-1}$  de colmos), litros de etanol produzidos e a matéria orgânica aportada  $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ . Em cada uma das três linhas

utilizadas para amostragem dentro de cada tratamento, foram coletadas, aleatoriamente, duas áreas equivalentes a 1 m linear, formando duas amostras com 2,4 m<sup>2</sup> cada uma por parcela experimental, das quais foi tirada a média. A matéria orgânica adicionada ao sistema foi estimada pela pesagem da palhada e das pontas deixadas no campo, sendo feito apenas no segundo experimento, implantado em 2010.

Todo o material vegetal, de cada repetição (colmo, palhada e ponta), foi pesado no campo e em seguida subamostrado. As subamostras foram pesadas e acondicionadas em sacos plásticos identificados. No laboratório as subamostras foram secadas em estufa ventilada a 65°C até alcançar massa constante, para determinação da umidade do material.

Em todas as parcelas foi estimado o número de colmos por hectare e, com o número de colmos colhidos, foi determinada a massa média de colmos. Foi determinada ainda, a relação de peso de colmos e número de colmos após cada ciclo de crescimento.

### **b) Determinação de nutrientes e parâmetros tecnológicos**

Os teores de nutrientes nos colmos e palhada (palha+ponta) foram determinados segundo o método preconizado por Malavolta (1989). A partir dos teores dos nutrientes e a massa fresca de colmos e massa seca da palhada (palha+pontas) foram calculados: a extração e o acúmulo de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio. Para determinar a qualidade tecnológica do caldo foram separadas subamostras formadas por três colmos, para a determinação da percentagem de sólidos solúveis totais do caldo (<sup>0</sup>Brix), Pol do caldo (%). Em seguida foram calculados a pureza do caldo (%), açúcares redutores (%), açúcares redutores totais do caldo (kg t<sup>-1</sup>), fibra da cana-de-açúcar (%), produção de açúcar (Mg ha<sup>-1</sup>) e produção de litros prováveis de álcool Mg<sup>-1</sup> de cana-de-açúcar. A qualidade tecnológica foi determinada na cana de primeira soca. Os parâmetros tecnológicos foram determinados pela metodologia proposta por Copersucar (1980).

- <sup>0</sup>Brix do caldo: através do refratômetro de ABBÉ;
- Pol % do caldo: através do uso de polarímetro, aplicando-se a seguinte fórmula:

$$\text{Pol \% do caldo} = \{a \times 100/[a]d^{20} \times L\}$$

Onde: Pol % do caldo = teor de sacarose aparente do caldo;

[a]d<sup>20</sup> = rotação ótica da sacarose (+66,5);

L = comprimento do tubo polarimétrico em decímetro;

- Pureza % do caldo (PZA), através da fórmula:

$$\text{Pureza} = \text{Pol \%} / {}^0\text{Brix} \times 100.$$

- Açúcares redutores totais % do caldo (ART), através da fórmula:

$$\text{ART} = \text{Pol \% do caldo} = (\text{ART} - 0,005\text{ART}) \times 0,95$$

- Fibra % da cana-de-açúcar, através da fórmula:

$$\text{Fibra \%} = (0,08 \times \text{PBU}) + 0,876$$

Onde: PBU = peso do bagaço úmido na prensa, em gramas.

- Produção de litros prováveis de Etanol, Mg<sup>-1</sup> de cana, através da fórmula:

$$\text{LPA} = (\text{ART \% da cana} \times 6,745 \times 0,8)/0,96$$

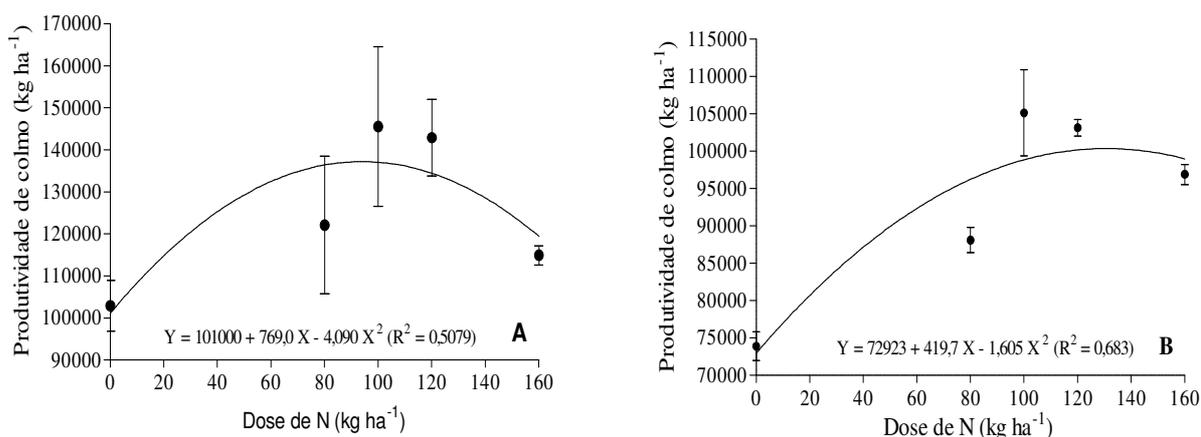
### **3.3.4 Análises Estatísticas**

Os dados obtidos foram submetidos a avaliação de normalidade de dados pelo teste de Lilliefors, homogeneidade de variâncias pelo teste de Cochran e Bartlett e à análise de variância (Teste F,  $\alpha=0,05$ ). Dado o caráter quantitativo da variável principal (dose de N), os contrastes significativos foram ajustados por análise de regressão nos dois ciclos avaliados individualmente. Foram utilizados os softwares SAEG e GRAPHPAD PRISM.

### 3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 4 são apresentados os valores correspondentes às produtividades de colmos no final de dois ciclos de soca, em função das doses de N-sulfato amônio. A produtividade de colmos foi significativamente influenciada pelas doses de N ( $p < 0,0011$ ). A análise de regressão evidenciou efeito quadrático significativo para as doses de N. Vitti et al. (2007), Vieira et al. (2010) e Prado e Pancelli (2006) também observaram aumentos na produtividade, com a elevação da dose de adubo nitrogenado. No entanto, esses autores obtiveram resposta linear positiva entre as doses de cloreto de amônio e nitrato de amônio, sulfato de amônio + nitrato de amônio e ureia (respectivamente) e a produtividade de colmos das soqueiras.

Os menores rendimentos foram encontrados no tratamento que não recebeu N-mineral (testemunha). Entre os níveis de N avaliados os rendimentos médios tenderam à estabilização em torno de 100 a 120 kg N ha<sup>-1</sup> aplicados em cana de primeira. As respectivas curvas de regressão (Figura 4), ambas com componente quadrático significativo, mostraram que, sob o regime de chuvas disponível aos dois ciclos avaliados, a taxa de incremento da produtividade de colmos das respectivas variedades RB867515 e RB918639 em função do N, tornou-se nula com 94 e 131 kg de N-sulfato de amônio, com produções da ordem de 137 e 100,4 Mg ha<sup>-1</sup> de colmos, respectivamente.



**Figura 4.** Produtividade de colmos, variedade RB867515 (A) e RB918639 (B), em resposta a doses de N aplicado (sulfato de amônio). Dados de primeira soca em 2010 (A) e 2011(B).

Em estudo para avaliar adubação nitrogenada em cana de primeira soca, Fortes et al. (2013), também observou que a taxa de incremento da produtividade de colmo em função do N tornou-se nula com 110 kg de nitrogênio. Estes resultados apontam para aumento na necessidade de N-mineral pela cana soca, quando em sistema de colheita sem queima da palhada, quando comparada com a cana com queima, onde a dose média usada para promover aumentos na produtividade na região é de 80 kg N ha<sup>-1</sup> (Vitti e Mazza, 2002).

Segundo Raij et al. (1996), para uma produtividade esperada de colmos em torno de 100 t ha<sup>-1</sup>, a dose de N recomendada para cana soca seria de 100 kg ha<sup>-1</sup>. Nesse estudo, pode-se concluir que a mesma dose de N na forma de sulfato de amônio respondeu de forma satisfatória, com produtividade acima de 100 t ha<sup>-1</sup> em sistema de cultivo da cana crua. Tal resultado reforça a importância da adubação nitrogenada para obtenção de maiores produtividades e longevidade das soqueiras de cana-de-açúcar (Trivelin 2000; Vitti 2003).

Avaliando a influência de quatro fontes de N-mineral (cloreto de amônio; nitrato de amônio; sulfato de amônio e uréia) sobre a produtividade de colmos, Vieira et al. (2010) observaram maiores rendimentos para a fonte sulfato de amônio, chegando a produção de aproximadamente 9 t ha<sup>-1</sup> a mais de colmos, porém, a produtividade obtida com o uso do sulfato de amônio não diferiu significativamente das outras fontes estudadas. O sulfato de amônio apresenta algumas vantagens em relação à uréia e outras fontes nitrogenadas, como reduzidas perdas por volatilização de NH<sub>3</sub>, além de conter enxofre (24% de S). O íon sulfato pode se ligar a outros cátions formando pares iônicos, CaSO<sub>4</sub>, MgSO<sub>4</sub> etc. disponibilizando esses elementos em profundidade, sendo importante para a cana soca, em virtude da não realização da calagem e/ou gessagem (Pearson et al., 1962; Oliveira et al., 2002).

Foi também observado que a maior dose aplicada (160 kg ha<sup>-1</sup>) resultou em produtividade inferior às duas doses anteriores. Segundo Strong et al. (1997), a aplicação de sulfato de amônio causa rápido decréscimo do pH do solo, por essa razão é possível que o excesso N aplicado na linha tenha comprometido a rebrota da cana.

Além disso, altas doses de N-mineral podem interferir negativamente no processo de fixação biológica de nitrogênio, que tem papel significativo na nutrição nitrogenada da cana-de-açúcar. Alguns autores (Fuentes-Ramírez et al., 1999; Muthukumarasamy et al., 1999; Reis Júnior et al., 2000; Muthukumarasamy et al., 2002b), têm observado que plantas de cana crescendo em solos adubados com altas doses de N fertilizante apresentam redução na população de bactérias diazotróficas embora o rendimento possa se manter estável.

Na Tabela 2 são apresentados os valores médios do acúmulo de palhada da cana soca variedade RB91 8639 cultivada com doses de nitrogênio. Não foram observadas diferenças significativas entre as doses avaliadas. Estes resultados indicam que as doses de N não influenciaram o acúmulo de palhada da cana soca colhida sem queima. De modo geral houve acúmulo na faixa de 11 a 14 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca de palhada (ponta+palha). O acúmulo de palhada observado assemelha-se aos resultados verificados por Schultz et al. (2010) estudando a adubação nitrogenada e potássica em cana soca colhida com e sem queima da palhada, e por Vitti (2003) estudando a adubação nitrogenada em cana soca colhida mecanicamente sem queima.

**Tabela 2.** Valores de massa seca (Mg ha<sup>-1</sup>) de palha, ponta e palhada de cana de primeira soca variedade RB91 8639 avaliados em função de doses de N-sulfato de amônio.

Doses N	MS palha	MS ponta	MS palhada
0	7157	5465	12622
80	7048	5100	12147
100	8114	5556	13670
120	7060	5640	12700
160	6127	5098	11225
F-RL	NS	NS	NS
F-RQ	NS	NS	NS
CV(%)	14,22	12,06	10,39

NS – Não significativo; MS massa seca. RL e RQ: Regressão Linear e Regressão Quadrática respectivamente

Na Figura 5 é apresentada a associação entre a produtividade de colmos nas safras 2009/2010 e 2010/2011 e o número de colmos da cultura ao final do ciclo de crescimento, considerando os tratamentos com as doses de N (0, 80, 100, 120 e 160 kg N ha<sup>-1</sup>) da fonte sulfato de amônio, aplicadas sobre os resíduos culturais da cana. No gráfico o valor de r foi obtido de duas combinações, uma considerando todas as doses (r = 0,8758 (A) e r = 0,716 (B)) e outra combinação considerando as três primeiras doses (80, 100 e 120 kg N ha<sup>-1</sup>; r = 0,8788 (A) e r = 0,9547 (B)). Quando se considera cada dose isoladamente os valores de r

foram de 0,979; 0,811; 0,847 e 0,867 (A) e 0,980; 0,985; 0,899 e -0,333 (B) para 80, 100, 120 e 160 kg N ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Houve correlação positiva significativa (p=0,0214) apenas para a dose 80 kg N ha<sup>-1</sup> no ciclo de crescimento da primeira soqueira em 2010 e para as doses 80 kg N ha<sup>-1</sup> (p=0,0199) e 100 kg N ha<sup>-1</sup> (p=0,0152) no ciclo da primeira soqueira em 2011.

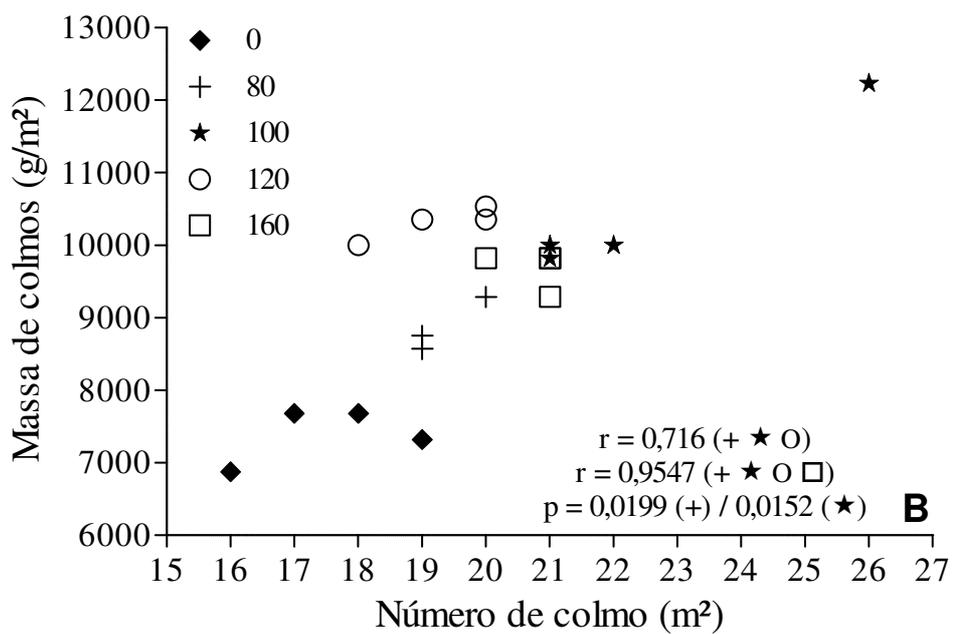
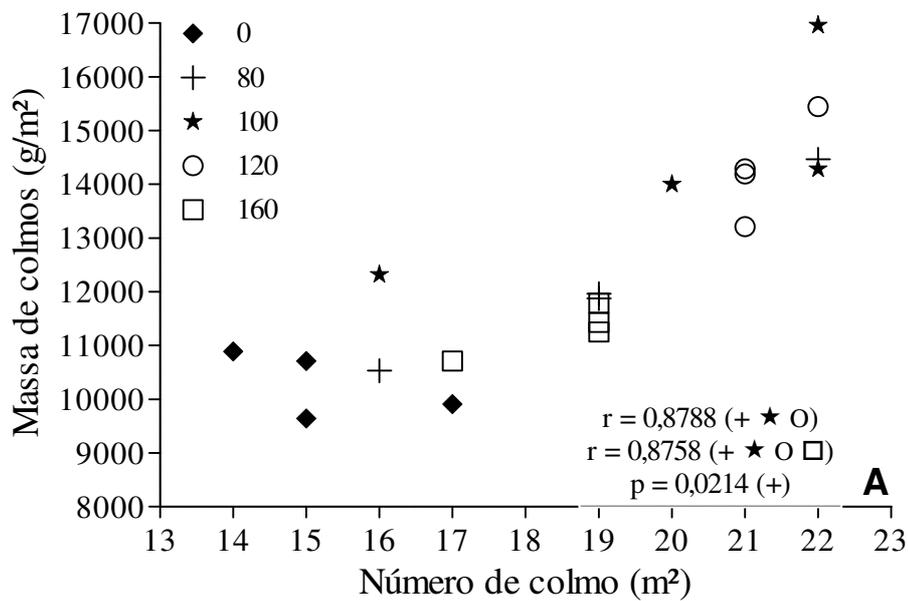
Do ponto de vista agrônomo, o aumento do número de colmos (via adubação nitrogenada) não é o principal requisito para a expressão da produtividade da cultura. Estudos envolvendo correlações genéticas de clones RB e variedades comerciais demonstram que genótipos com maior número de colmos tendem a ter colmos com menor peso (Skinner et al., 1987; Santana et al., 2010). Por outro lado, maiores doses de N podem levar a produção de menos colmos, porém, de maior diâmetro sem comprometer o rendimento de açúcar e álcool.

Após a análise de variância dos dados obtidos na primeira soqueira (2010) da variedade RB867515, observou-se que os parâmetros tecnológicos não apresentaram diferenças significativas para a aplicação de N, com os valores referentes às médias, observados em função das doses de N (Tabela 3). Já os parâmetros Pol, ATR, PA e produção de etanol da primeira soqueira da variedade RB918639 (ano 2011) foram significativamente influenciados pelas doses de N (p<0,001). A análise de regressão evidenciou efeito quadrático significativo para as doses de N (Tabela 4) tendo reduzido os parâmetros Pol, ATR e produção de etanol quando altas concentrações de N foram usadas.

A ausência de resposta ao tratamento verificada no primeiro ano de experimentação está de acordo com Prado e Pancelli (2006) e Vieira (2009), que encontraram condições semelhantes de resposta a adubações nitrogenadas em cana soca. Por outro lado Silveira e Crocomo (1981) e Franco et al. (2010) observaram pequeno decréscimo, embora significativo, nos valores de Pol e ATR da cana devido a aplicações crescentes de N em soqueiras, corroborando os resultados obtidos neste estudo. Fortes et al. (2013) observaram que os rendimentos de açúcar apresentaram resposta linear significativa entre as doses de N estudadas em cana planta e socas.

Segundo Korndorfer and Martins (1992), a adubação nitrogenada normalmente está associada com maior crescimento vegetativo o que invariavelmente determina plantas com maior teor de umidade e diminuição no acúmulo de sacarose. Esse efeito do tratamento não foi observado na produção de açúcar (PA), onde a mesma acompanhou o rendimento de colmos (Tabela 4). O efeito positivo da aplicação de nitrogênio na produção de colmos foi maior que seu efeito em reduzir os teores de açúcar do caldo.

Com base no que foi apresentado cabe admitir que os resultados de apenas dois cortes da soqueira de cana-de-açúcar não são suficientes para fundamentar a hipótese. Também o padrão de amostragem para a obtenção destes dados sempre esteve próximo do ideal, respeitando prazo menor que 24 horas entre corte da cana no campo e a análise das amostras no laboratório. Logo, novas pesquisas, com maior número de ciclos de soqueiras e variedades de cana devem ser desenvolvidas para consolidar as informações sobre o efeito do N na qualidade da cana-de-açúcar colhida sem queima.



**Figura 5.** Correlação entre massa de colmos e o número de colmos, variedades RB867515 (A) e RB 918639 (B). Os dados correspondem a dois cortes no final do ciclo de 1ª soca e, 2010 (A) e 2011 (B) (n=20).

**Tabela 3.** Parâmetros tecnológicos avaliados em função de doses de N-Sulfato de amônio em cana de primeira soca variedade RB867515.

Doses	°Brix	FIB	Pol	Pureza	AR	ATR	PA	Etanol
N		(%)		(%)	(%)	(kg t <sup>-1</sup> )	Mg ha <sup>-1</sup>	L Mg <sup>-1</sup>
0	17,7	11,3	15,1	85,0	0,7	128,9	16,08	72,44
80	18,2	10,6	15,5	85,2	0,7	133,7	18,96	75,16
100	18,3	11,0	15,1	82,8	0,8	130,5	18,47	73,33
120	18,1	11,0	15,1	83,5	0,8	129,9	19,90	73,01
160	17,9	11,1	15,2	85,6	0,7	130,1	15,42	73,14
F-RL	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
F-RQ	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
CV(%)	3,8	2,5	6,3	4,4	17,2	5,2	19,98	5,24

NS – Não significativo; Pol: teor de sacarose; AR: açúcares redutores; ATR: açúcar total recuperável; PA: produtividade de açúcar. RL e RQ: Regressão Linear e Regressão Quadrática respectivamente.

**Tabela 4.** Parâmetros tecnológicos avaliados em função de doses de N-Sulfato de amônio em cana de primeira soca variedade RB918639.

Doses	°Brix	FIB	Pol	Pureza	AR	ATR	Açúcar	Etanol
N		(%)		(%)	(%)	(kg t <sup>-1</sup> )	Mg ha <sup>-1</sup>	L Mg <sup>-1</sup>
0	20,30	11,61	18,46	90,84	0,49	153,12	13,62	86,07
80	21,15	11,36	19,28	91,06	0,48	161,86	17,30	90,98
100	21,08	10,73	19,04	90,43	0,63	164,22	19,96	92,30
120	20,25	11,00	18,49	89,24	0,66	156,15	19,06	87,77
160	20,08	10,77	17,31	88,54	0,58	147,02	16,77	82,64
F-RL	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
F-RQ	NS	NS	12,3*	NS	NS	26,17*	29,76*	22,70*
CV(%)	3,20	2,24	3,55	3,73	8,08	2,26	4,70	2,26

NS – Não significativo; \* Significativo a 1% de probabilidade; Pol: teor de sacarose; AR: açúcares redutores; ATR: açúcar total recuperável; RL e RQ: Regressão Linear e Regressão Quadrática respectivamente.

Nas Tabelas 5 e 6 são apresentadas as quantidades de macronutrientes exportadas para os colmos frescos de cana-de-açúcar dos ciclos de primeira soca, anos 2010 e 2011. Não foram observadas diferenças significativas na exportação de Ca e Mg nos colmos com a aplicação de N. Mas, para os macronutrientes N, P e K na soca em 2010 e N e K na soca em 2011, foi observada diferença significativa, com a análise de regressão apresentando efeito quadrático significativo para as doses de N. Todavia, as variações na extração dos macronutrientes foram determinadas pelos rendimentos de colmos, que por sua vez, apresentaram produtividade inferior com a maior dose estudada (160 kg ha<sup>-1</sup>), comparada às demais doses.

Schultz et al. (2010), avaliando a exportação de nutrientes nos colmos frescos verificou que a exportação de N e P não foi influenciada pelas adubações (adubação nitrogenada associada à aplicação de vinhaça e cloreto de potássio) na cana crua. Mas obtiveram resultado significativo para a exportação de K, onde destacaram que a absorção deste nutriente é determinante na produção de açúcar. Esse macronutriente possui várias funções na planta, destacando-se principalmente, a ativação de vários sistemas enzimáticos, muitos deles participantes dos processos de fotossíntese e respiração (Ernani et al., 2007). Os valores observados para K neste estudo, foram inferiores aos encontrados por Schultz et al. (2010), e também por Oliveira et al. (2010), ambos utilizando a variedade desse estudo RB867515, onde o último autor avaliou a extração dos nutrientes por diferentes variedades de cana-

de-açúcar cultivadas sob irrigação plena.

**Tabela 5.** Extração de nutrientes pelo colmo da cana de primeira soca variedade RB867515, colhida sem queima, avaliados em função de doses de N-Sulfato de amônio.

Doses N	N	P	K	Ca	Mg
	kg ha <sup>-1</sup>				
0	132,28	16,50	170,58	28,06	24,16
80	186,66	18,75	220,23	22,73	31,78
100	237,17	21,76	255,31	28,65	39,58
120	205,36	20,21	212,65	25,85	34,66
160	166,45	8,32	128,19	21,82	32,17
F-RL	NS	NS	NS	NS	NS
F-RQ	15,98**	13,77**	27,39**	0,49	4,75
CV(%)	9,80	17,27	10,79	26,48	17,35

NS – Não significativo; \*\* Significativo a 5% de probabilidade; RL e RQ: Regressão Linear e Regressão Quadrática respectivamente.

**Tabela 6.** Extração de nutrientes pelo colmo da cana de primeira soca variedade RB918639 colhida sem queima, avaliados em função de doses de N-Sulfato de amônio.

Doses N	N	P	K	Ca	Mg
	kg ha <sup>-1</sup>				
0	54,64	5,61	55,60	8,87	10,85
80	76,29	6,45	80,91	8,66	13,26
100	99,92	8,13	98,38	13,55	15,54
120	100,76	7,53	94,18	11,07	15,91
160	77,35	7,39	81,74	9,46	13,03
F-RL	NS	NS	NS	NS	NS
F-RQ	19,31**	NS	27,03**	NS	NS
CV(%)	6,93	14,92	7,29	31,49	14,71

NS – Não significativo; \*\* Significativo a 5% de probabilidade; RL e RQ: Regressão Linear e Regressão Quadrática respectivamente.

Foi observado que a extração dos nutrientes seguiu a ordem decrescente K>N>Mg>Ca>P nos dois ciclos avaliados. Resultados encontrados por Orlando Filho (1978) na variedade CB41-76 e Coleti et al. (2006) as RB835486 e SP813250 indicaram a seguinte ordem decrescente de extração K>N>Ca>Mg>P. Enquanto Oliveira et al. (2010) observaram que, de um modo geral, a extração dos nutrientes pelas 11 variedades estudadas (5 de maturação precoce e 6 de maturação média a tardia) seguiu a seguinte ordem decrescente K>Ca>N>Mg>P.

Na Tabela 7 são apresentadas as quantidades de nutrientes acumulados na matéria seca da palhada da variedade RB918639. Não foram verificadas diferenças estatísticas entre as doses estudadas. Os valores de N, P e K acumulados na palhada corroboram com os resultados de outros autores que avaliaram a nutrição e o acúmulo de nutrientes em cana crua (Schultz et al., 2010; Oliveira et al., 1999).

**Tabela 7.** Nutrientes acumulados na matéria seca da palhada da cana de primeira soca variedade RB918639 colhida sem queima, avaliadas em função de doses de N-Sulfato de amônio.

Doses N	N	P	K kg ha <sup>-1</sup>	Ca	Mg
0	38,96	5,93	78,59	28,07	14,85
80	42,49	5,44	73,56	25,90	14,76
100	51,59	6,03	83,04	29,52	15,67
120	47,03	5,65	78,10	25,60	14,21
160	39,16	5,56	71,03	23,92	13,89
F-RL	NS	NS	NS	NS	NS
F-RQ	NS	NS	NS	NS	NS
CV(%)	9,84	10,23	18,22	15,10	12,46

NS – Não significativo; RL e RQ: Regressão Linear e Regressão Quadrática respectivamente.

### 3.5 CONCLUSÕES

A aplicação de doses crescentes de N em cana soca colhida crua proporcionou incremento na produtividade de colmos, observando-se rendimentos máximos para as doses de 94 e 131 kg ha<sup>-1</sup> de N (para variedades e anos de cultivo diferentes). Estas doses são superiores à dose recomendada (80 kg N ha<sup>-1</sup>) para a região de tabuleiros do Espírito Santo, implicando em aumento da necessidade de N no período de transição de cultivo da cana queimada para cana crua.

As características tecnológicas da primeira soqueira da variedade RB867515 não foram alteradas pelas doses de nitrogênio. Entretanto, a Pol, ATR, PA e LPA da variedade RB918639 foram beneficiadas pelas doses de N aplicadas sobre a palhada.

A adubação nitrogenada proporcionou aumentos na extração dos macronutrientes N, P e K no colmo da cana de primeira soca, em razão da sua influência sobre o rendimento de colmos.

#### **4 CAPÍTULO III:**

### **EFEITO DO MANEJO DA PALHADA SOBRE A DINÂMICA DO CARBONO E NITROGÊNIO E RENDIMENTO: MODELAGEM DE RESULTADOS EXPERIMENTAIS DE LONGO PRAZO EM CANA-DE- AÇÚCAR EM TABULEIROS COSTEIROS**

## 4.1 RESUMO

No Brasil existe a necessidade de estudar e melhor entender os efeitos dos resíduos da cana-de-açúcar sobre o solo, especialmente na dinâmica do C e N, que podem contribuir para o aumento da produtividade da cultura local e regionalmente. Para avaliar o impacto do manejo da palhada sobre a produção de cana no Brasil, incluindo o destino em longo prazo do N contido na palha e implicações do manejo do N-fertilizante sob a palha acumulada, um estudo de simulação foi conduzido com o modelo de sistemas de culturas APSIM-Sugar. As simulações foram conduzidas ao longo de 14 anos, com dados de experimentos em longo prazo no município de Linhares-ES. Os objetivos foram (1) investigar se o modelo foi capaz de reproduzir as tendências dos maiores “pools” de N (rendimento de colmos e C orgânico do solo) no experimento; e (2) usar o modelo parametrizado para investigar como a relação entre o N-fertilizante e o rendimento (e as perdas de N para o ambiente) varia com o manejo da palhada. Inicialmente, as condições experimentais foram modeladas usando dados climáticos locais para testar a parametrização do modelo, e após, simulações em longo prazo foram conduzidas. Em geral, os parâmetros do modelo foram baseados nos dados de solo medidos no experimento comparando a cana com e sem queima da palhada, conduzido durante 23 anos. As simulações foram aplicadas durante os últimos 15 anos (dois ciclos completos da cultura). As condições dos sistemas de manejo da palha simuladas foram (1) cana colhida sem queima e com cobertura total da palha (GCTB), (2) 50 % GCTB, e (3) cana queimada. Os sistemas de manejo do N-fertilizante foram simulados através da variação da aplicação de doses do N-fertilizante de 0 a 240 ha<sup>-1</sup> (com incremento de 40 kg ha<sup>-1</sup>) sobre as soqueiras, com a cana-planta recebendo 75 % menos do que foi aplicado na soca (segundo a recomendação de N para a região do estudo). Os resultados de rendimento de colmos e C orgânico do solo do experimento foram bem representados pelo modelo. O estudo de simulação mostrou que, o rendimento respondeu positivamente não só aos sistemas GCTB e 50 % GCTB na área experimental, mas a magnitude da resposta foi dependente do N-fertilizante aplicado na cultura. A remoção de 50 % da palha pode reduzir a magnitude deste efeito, aumentando o rendimento potencial. No período de transição, enquanto a deposição de palha é prática recente, é requerida a adubação nitrogenada (a menos que altas doses de N tenham sido já aplicadas), para evitar a redução do rendimento causada pela imobilização desse nutriente. As implicações do período de desequilíbrio sobre os resultados de estudos de curto prazo com o manejo da palhada e a transição do sistema de cana queimada para os sistemas com conservação da palha são aqui também discutidos. As simulações indicam que é mais provável que a perda ambiental de N seja maior a partir dos sistemas com retenção de palhada que nos sistemas com as várias doses de fertilizante nitrogenado aplicado. Portanto, atenção especial deve ser tomada, para evitar elevadas doses de N-fertilizante. As simulações realizadas nesse estudo apresentam algumas limitações, que são discutidas no trabalho.

**Palavras-chave:** Cana colhida verde. Requerimentos de nitrogênio. Rendimento de colmos.

## 4.2 ABSTRACT

In Brazil there is a need to study and better understand the effects of the sugarcane crop residues on soil, especially in the dynamics of soil carbon and nitrogen, which can help to increase the crop productivity at both scales regional and local. To evaluate the impacts of trash management on sugarcane production in Brazil, including the long-term fate of N contained in trash and the N fertilizer management implications of trash retention, a simulation study was conducted with APSIM-Sugar cropping systems model. The simulations were conducted over the last 14 years with data from a long-term experiment in municipality of Linhares, Espírito Santo State. The objectives were (1) to investigate if the model was capable of reproducing the trends of the major N pools (cane yields and soil organic carbon) in the long term experiment; and (2) using the parameterized model to investigate how the relationship between N fertilizer and yield (and losses of N to the environment) varies with trash management. Initially, the experimental conditions were modelled using local climatic data to test the model's parameterization, and after that long-term simulations were conducted. Model parameters were generally based on measured soil data from the experiment comparing trash burning and trash blanketing, conducted over 23 years. The simulations were carried over the last 15 years (two complete cropping cycles). The trash management systems conditions simulated were Green Cane Harvesting and Trash Blanketing (GCTB), (2) half GCTB, and (3) burnt trash. N fertilizer management systems were simulated by varying N fertilizer application with rates from 0 to 240 kg ha<sup>-1</sup> (in 40 kg ha<sup>-1</sup> increments) on the ratoon crops, with the plants receiving 75 % less of that applied to the ratoon crops (according to the region N recommendation). Cane yields and soil organic carbon results from the experiment were well represented by the model. The simulation study showed that cane yield responded positively not only to the GCTB and half GCTB systems at the experimental area, but the magnitude of the response is dependent on N-fertilizer applied on crops. The half removal of trash might reduce the magnitude of this effect increasing the potential yield. In the interim period, additional N fertilizer is required, when trash deposition is a recent practice (unless high N rates are applied), to avoid yield reduction caused by N immobilization. Implications of this disequilibrium period on the results of short-term trash management trials and the transition from trash burning to conserving systems are discussed. The simulations also indicate that average environmental losses of N are likely to be greater from trash retained systems at all rates on N fertilizer applications. Thus so, particular care should be exercised to avoid over-application of N fertilizer. The simulations undertaken in this study obviously have limitations, and these are discussed.

**Key words:** Green cane harvesting. Nitrogen requirements. Yield effect.

### 4.3 INTRODUÇÃO

A lavoura da cana de açúcar é uma das principais atividades econômicas do Brasil, devido à produção de açúcar para etanol, como também o fornecimento de matéria prima para a indústria química e de subprodutos usados na alimentação animal. O Brasil é responsável por cerca de um quarto da produção global de cana-de-açúcar, com área de plantio de mais de 20 milhões de hectares em mais de 70 países, tornando o país o maior produtor mundial de cana-de-açúcar. Durante a safra 2011/2012, a produção foi estimada em 31,3 milhões de toneladas de açúcar e 20,55 bilhões de litros de etanol (FAO, 2010; UNICA, 2011). Para alcançar produções de tal ordem, os sistemas de cultivo da cana evoluem ao longo dos anos, com inovações tecnológicas que visam aumentar a qualidade e produtividade da cultura.

A prática de colheita da cana verde com cobertura da palha (conhecida em inglês como Green Cane Harvesting and Trash Blanketing - GCTB) passou a ser adotada no Brasil nos últimos 10 anos. A principal motivação sendo o cumprimento a legislação existente, que exige sistemas sustentáveis, a fim de melhorar a qualidade do ar e preservar os recursos naturais. Atualmente, cerca de 70% das plantações brasileiras na região Centro Sul é colhida sem queima (UNICA, 2012). A adoção do GCTB resulta em quantidade considerável de palhada (folhas secas, bainhas, pontas e pedaços de caules) acumuladas sobre o solo (10 a 20 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de massa seca), contribuindo para o sequestro de carbono, preservação da matéria orgânica do solo (MOS) e ciclagem de nutrientes nos agroecossistemas (Wood, 1991; Urquiaga et al., 1991; Ball-Coelho et al., 1993; Robertson and Thorburn, 2007; Thorburn et al., 2012). Entretanto, a recomendação de fertilizantes ainda é baseada no sistema de cultivo da cana com queima, por ser o principal método de manejo da palhada usado anteriormente. Assim, é necessário estudar o modo como o manejo dos nutrientes para o sistema de produção GCTB difere dos sistemas de cana queimada.

A cobertura de palha formada sobre a superfície do solo influencia os processos de produção da cana-de-açúcar, incluindo o rendimento e manejo da adubação. Esses efeitos tem sido estudados com o foco das perdas ambientais de N e eficiência agrônômica dos fertilizantes (Trivelin et al., 2002; Oliveira et al., 2002; Costa et al., 2003), o crescimento de raízes (Ball Coelho et al., 1993; Vitti et al 2008), a dinâmica do N no solo (Meier et al., 2006; Fortes et al., 2011), a dinâmica da água no solo e temperatura do solo (Ceddia et al. 1999; Wood, 1991), o sequestro de carbono no solo (Resende et al., 2006; Pinheiro et al., 2010; Thorburn et al., 2012) e a densidade do solo e estabilidade de agregados (Ceddia et al., 1999; Graham et al., 2002a).

A palhada contém 30-50 kg N ha<sup>-1</sup> (Wood, 1991; Ball-Coelho et al., 1993; Robertson and Thorburn, 2007), potencialmente disponível para reduzir os requerimentos de fertilizante nitrogenado. Inicialmente o N é imobilizado devido a alta relação C:N (70:1 a 120:1), mas ao longo do tempo, as coberturas sucessivas de palhada aumentam a MOS e a mineralização do N (Robertson and Thorburn, 2007; Meier et al., 2008; Thorburn et al., 2012). Vários anos até possivelmente décadas, de cobertura de palhada são necessárias antes que o ciclo do C e do N no solo alcance o equilíbrio (Robertson and Thorburn, 2007b; Thorburn et al., 2012). Quando a MOS alcança o equilíbrio, o N da palha pode “substituir” o N fertilizante, reduzindo as aplicações de N. Entretanto, esta quantidade da substituição pode não ser igual ao N na palha, uma vez que parte do N pode ser perdida para o ambiente.

Devido a complexidade do ciclo do N, em lavouras e nos solos, e dos longos prazos envolvidos antes que as concentrações de N do solo alcancem o equilíbrio em sistemas sob contínua cobertura de palhada, o uso de modelos é útil para investigar se a palha pode substituir parte do N fertilizante requerido pela cana. O modelo APSIM (Keating et al., 2003) foi selecionado para simular os dados experimentais gerados na região dos tabuleiros costeiros no Brasil, devido à sua habilidade para simular o rendimento de cana (Keating et al.,

1999), a taxa de decomposição da palhada (Thorburn et al., 2001a) e a ciclagem de N no solo (Thorburn et al., 2005).

A reintrodução recente da prática de cultivo da cana sem queima (GCTB) no Brasil faz com que se tenha poucos dados de pesquisa sobre o efeito da cobertura de palhada no requerimento de fertilizantes nitrogenados, nos sistemas intensivos de produção da cana-de-açúcar.

O objetivo deste estudo foi examinar as dinâmicas do C e do N em solo de área de tabuleiro costeiro em experimento com manejo da palha em longo prazo (Silva, 2000; Tavares et al., 2010; Pinheiro et al., 2010; Benazzi, 2011) no município de Linhares-ES. Foi utilizado o modelo para sistemas de culturas APSIM (<http://www.apsim.info/Wiki/>) para estudar o destino do N na palha em longo prazo, e identificar as implicações do acúmulo de palhada no manejo do N-fertilizante.

Os objetivos específicos do estudo foram investigar se o modelo APSIM-Sugar é capaz de reproduzir as tendências dos maiores “*pools*” de N (rendimento de cana e carbono orgânico do solo) no experimento; a influência da acumulação de palhada sobre a quantidade de fertilizante necessária para obtenção do rendimento máximo; e a escala de tempo na qual a ciclagem na área será capaz de alcançar o equilíbrio.

## 4.4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.4.1 Descrição da Área

As simulações de cultivo da cana-de-açúcar foram conduzidas para o período de 1997-2011, com base nos dados de experimentos em longo prazo (Ceddia et al., 1999; Mendoza et al., 2000; Silva, 2000; Tavares et al., 2010; Pinheiro et al., 2010; Benazzi, 2011) conduzidos em área da destilaria LASA, em Linhares-ES Brasil (19°18'S, 40°19' W). A precipitação média anual variou de 1000 a 1250 mm e a temperatura média anual de 22 a 24 °C. O solo foi classificado como ARGISSOLO AMARELO, textura arenosa/média (Tabela 1).

**Tabela 1.** Propriedades (0-2 m) do Argissolo Amarelo na area do experimento de longa duração na destilaria LASA, Norte do Espírito Santo, usado nas simulações.

Profundidade (cm)	Areia / Argila/Silte (g/kg)			DS (Mg/m <sup>3</sup> )	*CC (mm/mm)	*PMP (mm/mm)	C-Total (g/kg)	pH
0-5	890	100	10	1,40	0,112	0,064	11,9	5,6
5-10	890	100	10	1,56	0,125	0,060	9,76	5,4
10-20	890	100	10	1,59	0,129	0,058	9,43	5,3
20-30	880	120	0	1,60	0,138	0,067	9,94	5,5
30-40	800	200	0	1,56	0,181	0,103	9,78	5,6
40-60	760	200	40	1,56	0,188	0,107	8,66	5,7
60-80	750	230	20	1,56	0,203	0,118	6,36	5,5
80-100	700	280	20	1,53	0,227	0,139	5,8	5,5
100-120	650	290	60	1,37	0,215	0,142	-	-
120-150	700	230	70	1,56	0,210	0,123	-	-
150-200	680	280	40	1,64	0,247	0,143	-	-

\* CC = capacidade de campo, PMP = ponto de murcha permanente; parâmetros relacionados a água no solo usados no módulo SoilWat. DS = densidade do solo.

A área experimental foi originalmente coberta por floresta secundária, remanescente da Mata Atlântica, removida para implantação de pastagem com *Brachiaria* sp., plantada inicialmente em 1986. O experimento com cana-de-açúcar foi instalado em 1989 com delineamento de blocos casualizados com 5 repetições e dois tratamentos, (cana queimada e cana sem queima com acúmulo da palha sobre o solo -sistema GCTB). O total de 10 parcelas consistiu de 6 linhas de cana de 95 m de comprimento com espaçamento de 1,2 m entre as linhas. O primeiro ciclo de crescimento (cana planta + soqueiras) terminou em 1996 e sete meses depois da colheita a área foi restabelecida para novo ciclo de crescimento. Neste período, o experimento foi dividido em duas áreas experimentais. Em uma delas, metade das parcelas foram manejadas sob preparo convencional (CC) e na outra metade com cultivo mínimo (CM), resultando em um esquema fatorial, sendo os fatores o manejo da palha (GCTB e cana queimada) e o preparo do solo (CC e CM). Na outra área experimental, quatro tratamentos foram estabelecidos: a) cana sempre colhida com queima (a1); e colhida sem queima (a2); mais dois tratamentos com sistemas de colheita alternados, GCTB/cana queimada (a3); e cana queimada/GCTB (a4). Nesta área todas as parcelas foram manejadas sob cultivo mínimo (CM). Em ambas as áreas as parcelas continham 286 m<sup>2</sup> de área com 11 linhas de 20 cm de comprimento, espaçadas 1,3 m entre as linhas.

A intenção inicial foi simular no modelo os resultados de todos os tratamentos com CC ou CM, e cana sempre colhida sem queima e sempre colhida com queima de ambas as

áreas experimentais. Como não houve efeito significativo do preparo sobre o rendimento da cultura na primeira área experimental, os resultados de ambos, CC e CM, foram usados nas simulações para obter uma melhor representação da variabilidade nos rendimentos de cana entre as parcelas. A Tabela 2 sintetiza o manejo da área nos 22 anos do experimento.

**Tabela 2.** Descrição do manejo de cultivo da área experimental em Linhares-ES, usada no estudo de simulação da cultura da cana-de-açúcar em solo de tabuleiro costeiro.

<b>Datas plantio/colheita</b>	<b>Ciclo da Cultura</b>	<b>Data de Adubação</b>	<b>Corretivos e fertilizantes</b>	<b>Quantidade (kg ha<sup>-1</sup>)</b>
28/05/1989	Preparação da área e plantio	05/1989	Calcário dolomítico; Superfosfato Triplo +Sulfato de cobre; Cloreto de potássio	500 125 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) 85 (K <sub>2</sub> O)
Variedade RB73 9735 – Espaçamento 1,2 – Preparo convencional do solo				
17/09/90	Cana Planta	10/10/90	Uréia/Cloreto de Potássio	100N/ 80 (K <sub>2</sub> O)
09/09/91	1ª Soca	19/09/91	Uréia/Cloreto de Potássio	100N/ 80 (K <sub>2</sub> O)
30/09/92	2ª Soca	06/10/92	Uréia/Cloreto de Potássio	100N/ 80 (K <sub>2</sub> O)
13/09/93	3ª Soca	29/10/93	Uréia/Cloreto de Potássio	100N/ 80 (K <sub>2</sub> O)
15/10/94	4ª Soca	20/11/94	Uréia/Cloreto de Potássio	100N/ 80 (K <sub>2</sub> O)
03/10/95	5ª Soca	03/12/95	Uréia/Cloreto de Potássio Superfosfato Simples	100N/120(K <sub>2</sub> O) 63 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )
14/10/1996	6ª Soca	-	-	-
1996 - Eliminação da soqueira com herbicida				
11/04/97	Preparação da área e plantio	04/1997	Uréia/Cloreto de Potássio Superfosfato Simples	20 N/ 80 (K <sub>2</sub> O) 80 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )
Variedade RB73 9735 – Espaçamento 1,2 – Cultivo mínimo do solo				
29/09/98	Cana Planta	26/10/98	Uréia/Cloreto de Potássio	80 N/ 80 (K <sub>2</sub> O)
14/09/99	1ª Soca	18/10/1999	Uréia/Cloreto de Potássio	80 N/ 80 (K <sub>2</sub> O)
18/09/2000	2ª Soca	24/10/2000	Uréia/Cloreto de Potássio	80 N/ 80 (K <sub>2</sub> O)
24/09/2001	3ª Soca	29/10/2001	Uréia/Cloreto de Potássio	80 N/ 80 (K <sub>2</sub> O)
16/10/2002	4ª Soca	20/11/2002	Uréia/Cloreto de Potássio	80 N/ 80 (K <sub>2</sub> O)
14/10/2003	5ª Soca	19/11/2003	Uréia/Cloreto de Potássio	80 N/ 80 (K <sub>2</sub> O)
19/10/2004	6ª Soca	-	-	-
2005 - Eliminação da soqueira com herbicida				
17/05/2005	Preparação da área e plantio	05/2005	Uréia/Cloreto de Potássio Superfosfato Simples	25 N/100 (K <sub>2</sub> O) 100 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )
Variedade SP79 1011 – Espaçamento 1,3 – Cultivo mínimo do solo				
14/08/2006	Cana Planta	29/09/2006	Uréia/Cloreto de Potássio	100N/150(K <sub>2</sub> O)
17/09/2007	1ª Soca	23/10/2007	Uréia/Cloreto de Potássio	100N/150(K <sub>2</sub> O)
08/09/2008	2ª Soca	15/10/2008	Uréia/Cloreto de Potássio	100N/150(K <sub>2</sub> O)
09/09/2009	3ª Soca	20/10/2009	Uréia/Cloreto de Potássio	100N/150(K <sub>2</sub> O)
17/09/2010	4ª Soca	28/10/2010	Uréia/Cloreto de Potássio	100N/150(K <sub>2</sub> O)
11/09/2011	5ª Soca	08/10/2011	Uréia/Cloreto de Potássio	100N/150(K <sub>2</sub> O)

#### 4.4.2 Dados Climáticos

Como as condições climáticas têm influência direta no crescimento da cana e na decomposição da palhada, dados meteorológicos diários como, precipitação, temperatura máxima e mínima e radiação solar foram usados nesse estudo. Os dados foram obtidos junto a Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), e de outras fontes, na indústria canavieira. A precipitação (mm) e as temperaturas máximas e mínimas (°C) diárias foram obtidas no posto meteorológico da destilaria LASA, localizado a 5 km da área experimental. Os valores perdidos (falhas) foram completados com dados diários obtidos com a INCAPER (Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural, L 19°18' S, 40°19' W). Na mesma localização, estimativas de radiação solar ( $\text{MJ m}^{-2} \text{D}^{-1}$ ) da estação INCAPER foram obtidas aplicando modelo GL 1.2 desenvolvido pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do IMPE (Instituto de Pesquisas Espaciais). O modelo GL 1.2 prevê a radiação solar média diária, através das imagens do canal visível do satélite GOES (Ceballos et al., 2004). O modelo GL apresentou alguns valores perdidos (falhas) nos dados de radiação. Estas falhas foram completadas usando a temperatura máxima e mínima da estação da destilaria LASA para estimar a radiação solar usando o método de Bristow e Campbell (1984) e a parametrização descrita por Conceição e Marin (2007), indicadas abaixo:

$$Q_g = A[1 - \exp(-B(T_{\max} - T_{\min})^C)],$$

Onde **Q<sub>g</sub>** é a radiação global ( $\text{MJ m}^{-2} \text{D}^{-1}$ ); **A** é o coeficiente empírico de valor 0,7 (adimensional); **B** é o coeficiente empírico de valor 0,005 (adimensional); e **C** é o coeficiente empírico de valor 2,4 (adimensional); **T<sub>max</sub>** é a temperatura máxima do dia (°C) e **T<sub>min</sub>** é a temperatura mínima do dia (°C).

Os dados estimados pelo método de Bristow e Campbell (1984) foram usados em 6,6% do total de dias (3985) do estudo, nos anos de 2001 a 2011, e os valores perdidos foram comuns e principalmente entre 2001 a 2006. Antes de 2001 os dados climáticos diários não estavam disponíveis. Para os anos de 1997 a 2000, a média diária das temperaturas máxima e mínima dos anos de 2001 a 2003 foi usada e os dados diários de radiação solar foram obtidos do satélite GOES (Ceballos et al., 2004). Os dados diários de precipitação não estavam disponíveis nos anos de 1997 a 2000, contudo, os dados mensais estavam e foram desagregados. A precipitação total mensal foi distribuída através dos dias com base nos padrões de precipitação do período de três anos seguintes (2001 a 2003). Houve preferência pelos dias em que as chuvas ocorreram durante os três anos e arbitrariamente, um valor para aumento ou redução das chuvas foi aplicado em alguns dias do mês para atingir o valor de precipitação mensal medido.

#### 4.4.3 Configuração e Parametrização do Modelo

Simulações foram realizadas com o simulador de sistemas de cultivos APSIM. O modelo foi configurado para consistir dos módulos para C e N (APSIM-SoilN; Probert et al., 1998), água no solo (APSIM-SoilWat; Probert et al., 1998), dinâmica dos resíduos da cana-de-açúcar (APSIM-Residue; Thorburn et al., 2001a), e crescimento da cana (APSIM-Sugar; Keating et al., 1999) e operações e manejo agrícola (APSIM-Manager; Keating., 1999).

Os módulos no APSIM são unidimensionais, utilizam um intervalo de tempo diário e são governados por dados climáticos. A dinâmica da água, C, N e raízes são simuladas em camadas do solo (até 1,5 m nesse estudo), com a água (associada ao nitrato) movendo-se entre as camadas onde existem gradientes. O valor de N proveniente da mineralização, da imobilização e da nitrificação é definido em cada camada, assim como as perdas de N por desnitrificação e lixiviação. A umidade e temperatura do solo afetam todos os processos de ciclagem de N no solo, deste modo, o modelo água no solo, é uma forma de balanço hídrico

do tipo “*cascading bucket*”. A presença de resíduos vegetais na superfície do solo afeta o escoamento superficial (e, conseqüentemente, a infiltração) e a evaporação. O módulo cana-de-açúcar reflete o uso da radiação interceptada para produzir assimilados, e nele a planta é dividida em folha, ponta (definida como a haste superior imatura do colmo mais as bainhas das folhas verdes), colmo e raízes. Estes componentes respondem à radiação e temperatura, bem como a disponibilidade de água e nitrogênio. Operações agrícolas (como adubação, plantio, incorporação de resíduos da cultura através do cultivo, ou queima dos resíduos da cultura; Tabela 2) foram especificadas através do módulo APSIM-Manager.

Os parâmetros do modelo foram em geral baseados em dados medidos no solo. Estes dados são originários de estudos sobre o impacto da colheita da cana com e sem queima da palhada sobre o C e N do solo (classe Argissolo Amarelo; Pinheiro et al., 2010) e de mudanças nas propriedades físicas, biológicas e na fertilidade do solo (Ceddia et al., 1999; Mendoza et al., 2000; Silva, 2000; Tavares, 2007; Benazzi, 2011). Os valores de densidade do solo, da relação C:N e de carbono orgânico inicial foram inseridos no modelo para coincidir com os valores medidos nos solos (Tabela 1). Os parâmetros do módulo água no solo, como “*drained upper limit*” (DUL = capacidade de campo) e “*lower limit*” (LL = ponto de murcha permanente) foram derivados de funções de pedotransferência para obter os valores de retenção de água a -33 kPa e -1.5 MPa (Nascimento et al., 2010). A “estrutura” da camada do módulo solo foi dividida em sete camadas de solo, com a profundidade total de 2,0 m.

Os parâmetros fisiológicos simulados no modelo foram os valores padrões estabelecidos para a variedade de cana-de-açúcar - Q117 (Keating et al., 1999). Esta variedade foi selecionada por duas razões, a primeira, a ausência de variedades de cana do Brasil com dados parametrizados no APSIM na época do estudo. Segundo, falta de informações fisiológicas suficiente sobre a variedade de cana-de-açúcar do experimento de campo em Linhares, ES. Por outro lado, a Q117 foi escolhida por ser uma variedade bastante estudada e ter sido extensivamente usada em trabalhos com simulações anteriores do APSIM.

O APSIM-Sugar assim como outros modelos permite prever o rendimento potencial da cultura. Entretanto, o rendimento de campo pode ser limitado por fatores como pragas e doenças, entre outros, e o tombamento dos colmos de cana (Smith et al., 1984; Carlin et al., 2008). O tombamento da cana foi representado no APSIM-Sugar, visando reduzir a diferença entre os rendimentos potencial estimado e o experimental. O APSIM foi parametrizado para representar o efeito do tombamento sobre o rendimento da cana, e o impacto deste fator foi avaliado em duas datas - 27-01-2004 e 31-12-2010, de acordo com Singh et al. (2002).

Nas simulações dos resultados experimentais, variáveis de manejo (plantio e data de colheita, quantidade, tipo e data de aplicação do fertilizante nitrogenado) foram obtidas de registros da destilaria LASA (Tabela 2). O N-ureia foi aplicado na camada de 0-5 cm do solo. Após da colheita de cada ciclo anual, o peso da palhada foi reduzido em 90% no tratamento cana queimada para simular queima da palha na pré-colheita (Mitchell et al., 2000).

Para avaliar a resposta do rendimento de colmos às aplicações de diferentes doses de N, simulações adicionais foram realizadas ao longo dos últimos 14 anos (1997-2011, dois ciclos de cultivo). Os sistemas de manejo da palhada foram (1) acúmulo da palhada na colheita (GCTB); (2) 50 % de acúmulo da palhada na colheita (50 % GCTB), e (3) palhada queimada. As doses de N-fertilizante foram simuladas para variar de 0-240 kg ha<sup>-1</sup> (com incrementos de 40 kg ha<sup>-1</sup>) na soca, com a cana-planta recebendo 75% a menos do que foi aplicado na soca, segundo a recomendação para a região (Orlando Filho et al., 1994; Rajj et al., 1996). O N foi aplicado na forma de ureia na primeira camada (0-5 cm). As condições iniciais do solo, clima e variedade (Q117) foram os mesmos usados na simulação dos resultados experimentais, com dois ciclos de cultivo, cada um com 15 meses para a cana-planta, seguido por cinco soqueiras de 12 e um período de pousio da terra de sete meses.

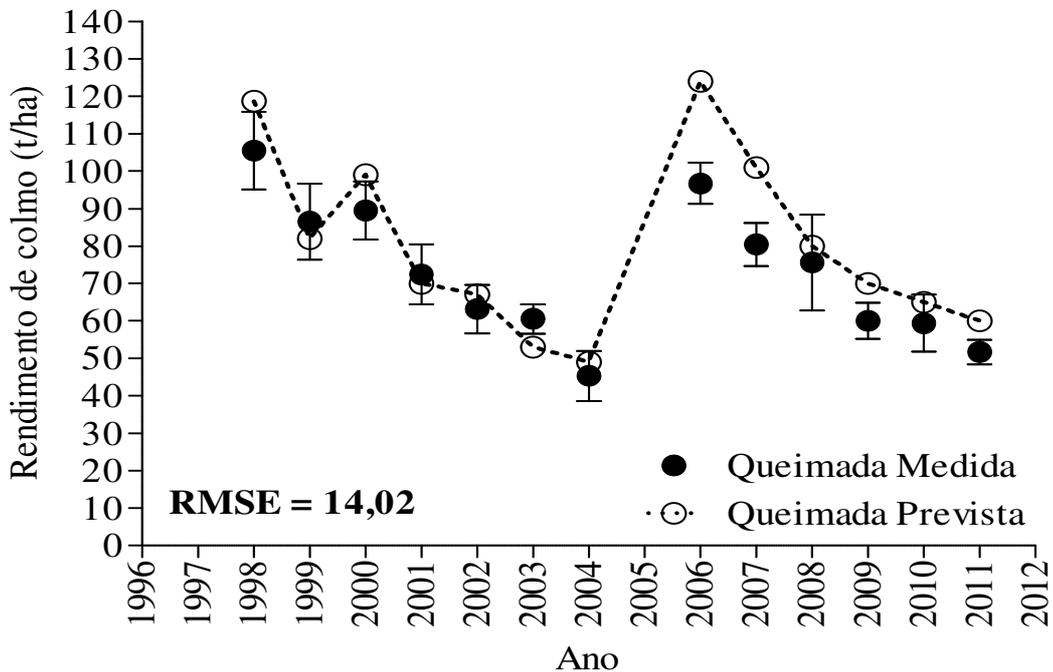
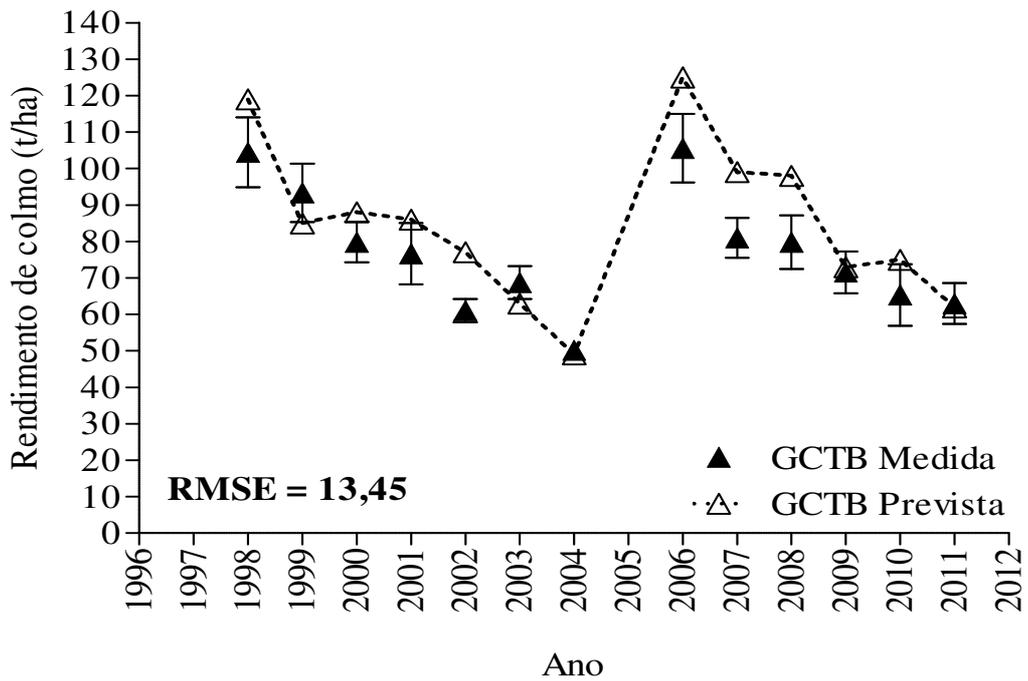
## 4.5 RESULTADOS

### 4.5.1 Validação do APSIM com o Carbono Orgânico do Solo e Rendimento de Colmos Experimental

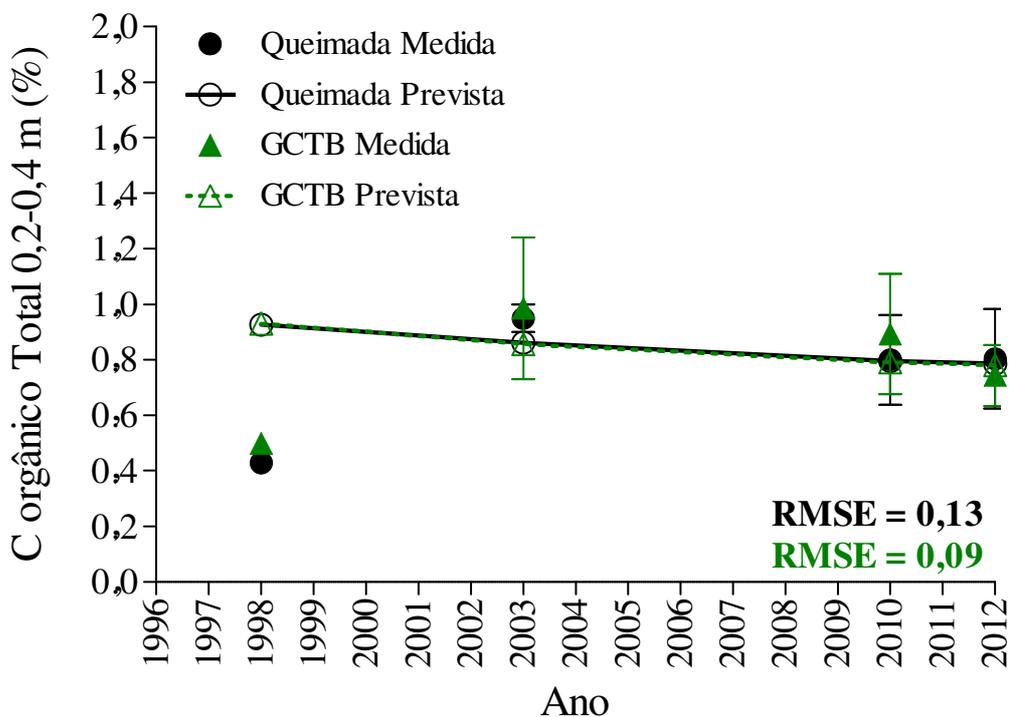
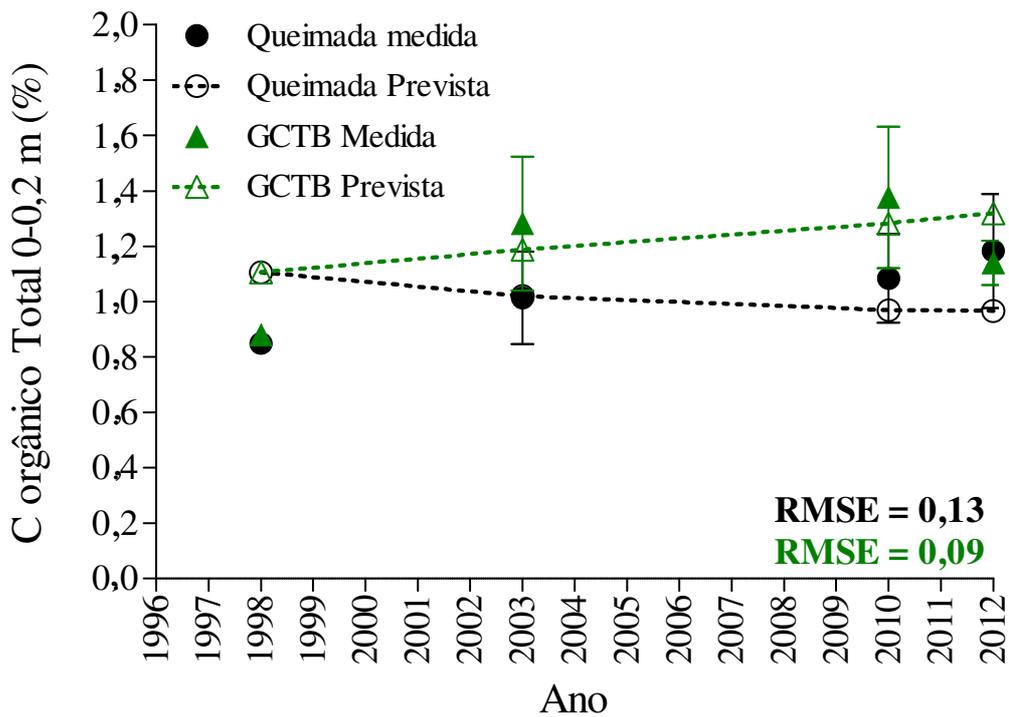
Os rendimentos de colmos dos tratamentos avaliados foram simulados de forma satisfatória pelo modelo (Figura 1). Analisando a média de todos os anos e tratamentos, o rendimento de cana previsto ( $82 \text{ t ha}^{-1}$ ) foi apenas  $7 \text{ t ha}^{-1}$  acima da média do rendimento medido ( $75 \text{ t ha}^{-1}$ ). A raiz do erro quadrático médio entre os valores previstos e medidos foi de  $14,02 \text{ t ha}^{-1}$  e  $13,45 \text{ t ha}^{-1}$  para os tratamentos cana queimada e GCTB, respectivamente. Nos anos de 2006 e 2007, em ambos os tratamentos, e nos anos de 2000 e 2002, no tratamento com acúmulo de palhada, os rendimentos simulados foram marcadamente diferentes dos rendimentos medidos. Os registros de manejo de cultivo do experimento não indicaram razão aparente para justificar estas diferenças. O rendimento médio de cana medido no tratamento GCTB foi em  $4 \text{ t ha}^{-1}$  superior ao tratamento cana queimada, sendo esta diferença entre os rendimentos simulados de  $5 \text{ t ha}^{-1}$ . Supõe-se que a maior disponibilidade de água no tratamento com acúmulo de palha sobre o solo foi um fator significativo no aumento da produtividade.

O C total do solo previsto esteve, em geral, dentro do erro de avaliação dos dados medidos (Figura 2), em que os valores iniciais de C no solo fornecidos ao modelo foram maiores que os valores medidos em 1998. Os valores de 1998 foram consideravelmente inferiores aos valores medidos cinco anos depois. É difícil compreender que fatores no campo poderiam ter causado este aumento, dadas as entradas líquidas de C a partir da cultura ao longo destes anos e as pequenas mudanças no C do solo medido entre os dois períodos de amostragem subsequentes. É provável que os valores em 1998 tenham sido afetados pela amostragem ou por um somatório de diferenças analíticas, quando comparados com os valores posteriores.

O C total medido em campo foi maior no tratamento com palha acumulada em 2003 e 2010, e também foi observado efeito semelhante desse tratamento nos resultados previstos na mesma época. O C total previsto foi maior no tratamento GCTB que na cana queimada em todos os anos posteriores, porém, essa diferença não foi observada em 2012, para a camada de 0-20 cm. A ausência de efeito do tratamento GCTB sobre o C do solo no experimento é inconsistente com estudos anteriores de manejo da palha e de C no solo (Galdos et al., 2009; Canellas et al., 2010; Thorburn et al., 2012). As simulações indicam que o C total do solo aumentou quando houve acúmulo de palha na camada de 0-20 cm, e diminuiu ligeiramente no tratamento cana queimada na camada de 0-20 cm, e em ambos os tratamentos na camada de 20-40 cm ao longo dos 14 anos de manejo e com o acúmulo de palhada. Não houve efeito do tratamento GCTB sobre o C total do solo, medido ou previsto, para a camada 20-40 cm.



**Figura 1.** Comparação entre valores medidos (símbolos sólidos) e simulados (linha sólida e tracejada - símbolos aberto) para rendimento de cana com e sem queima. Barras sobre os dados medidos = 95 % intervalo de confiança. RMSE = Raiz do erro quadrático médio, obtida pela diferença entre rendimentos simulados e medidos.

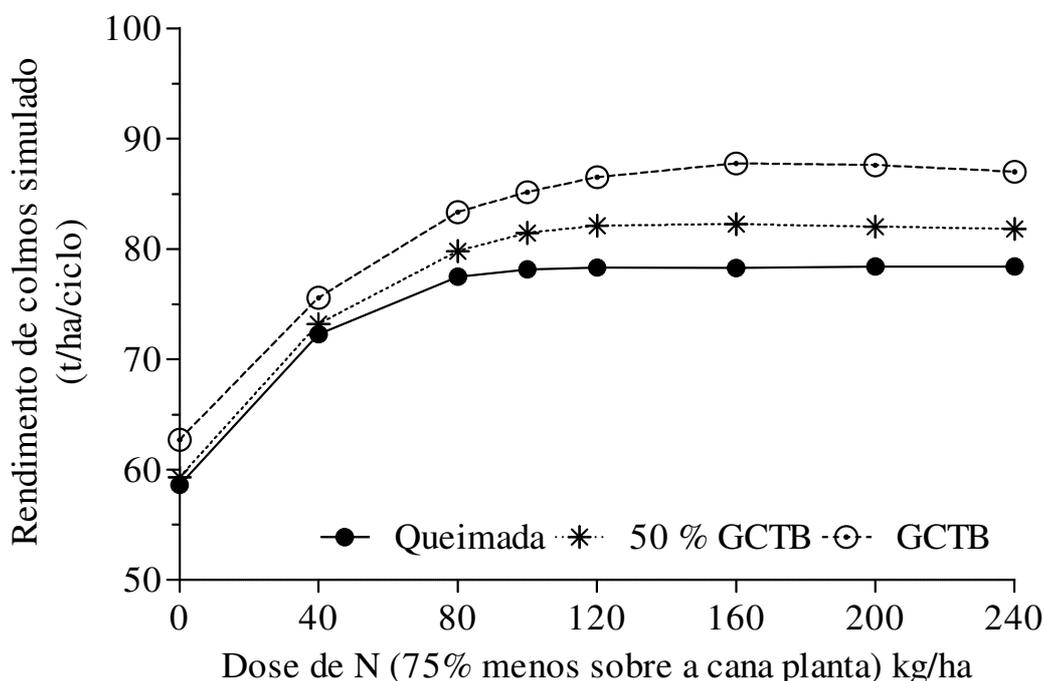


**Figura 2.** Comparação entre valores medidos (símbolos sólidos) e simulados (linha sólida e tracejada - símbolos aberto) para carbono total no solo com e sem queima, nas camadas 0-20 e 20-40 cm. Barras sobre os dados medidos = 95 % intervalo de confiança. RMSE = Raiz do erro quadrático médio, são obtidos pela diferença entre os valores medidos e os previstos.

#### 4.5.2 Efeito Simulado da Aplicação de N-fertilizante

Os rendimentos de colmos foram simulados para aumentar proporcionalmente à aplicação de N até que o rendimento máximo fosse alcançado e nenhuma resposta ao N fosse mais observada (Figura 3). Na simulação do tratamento com a cana queimada, o rendimento máximo foi alcançado com  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  N e nos tratamentos 50% GCTB e GCTB com 120 e  $160 \text{ kg ha}^{-1}$ , respectivamente. A dose de N encontrada para o rendimento máximo, na simulação do tratamento cana queimada, está de acordo com outros estudos em campo realizados no Brasil (Urquiaga et al., 1992; Schultz et al., 2010; Resende et al., 2006). A maior conservação da umidade do solo no sistema com a palhada contribuiu para o aumento do rendimento da cana e, conseqüentemente, o requerimento de N.

Os rendimentos de colmos nos tratamentos 50% GCTB e GCTB foram maiores que no tratamento cana queimada, em todas as doses estudadas. Foi observado aumento médio de 10 e  $4 \text{ t ha}^{-1}$  nos sistemas GCTB e 50% GCTB, respectivamente, para as doses onde o rendimento máximo foi alcançado (Figura 3). A magnitude do aumento no rendimento de colmo, do tratamento com acúmulo de palha simulado, em geral, concorda com resultados de campo em experimento de longo prazo e solo sem restrições de drenagem na região dos tabuleiros costeiros (Ceddia et al., 1999; Pinheiro et al., 2010). A resposta do rendimento de colmos simulado variou com as doses de N. Em geral, a resposta aos tratamentos foi menor para as menores doses de N. Esse resultado deveu-se à limitação de N no sistema, não sendo capaz de responder totalmente ao aumento na disponibilidade de água, pelo acúmulo de palha no solo.

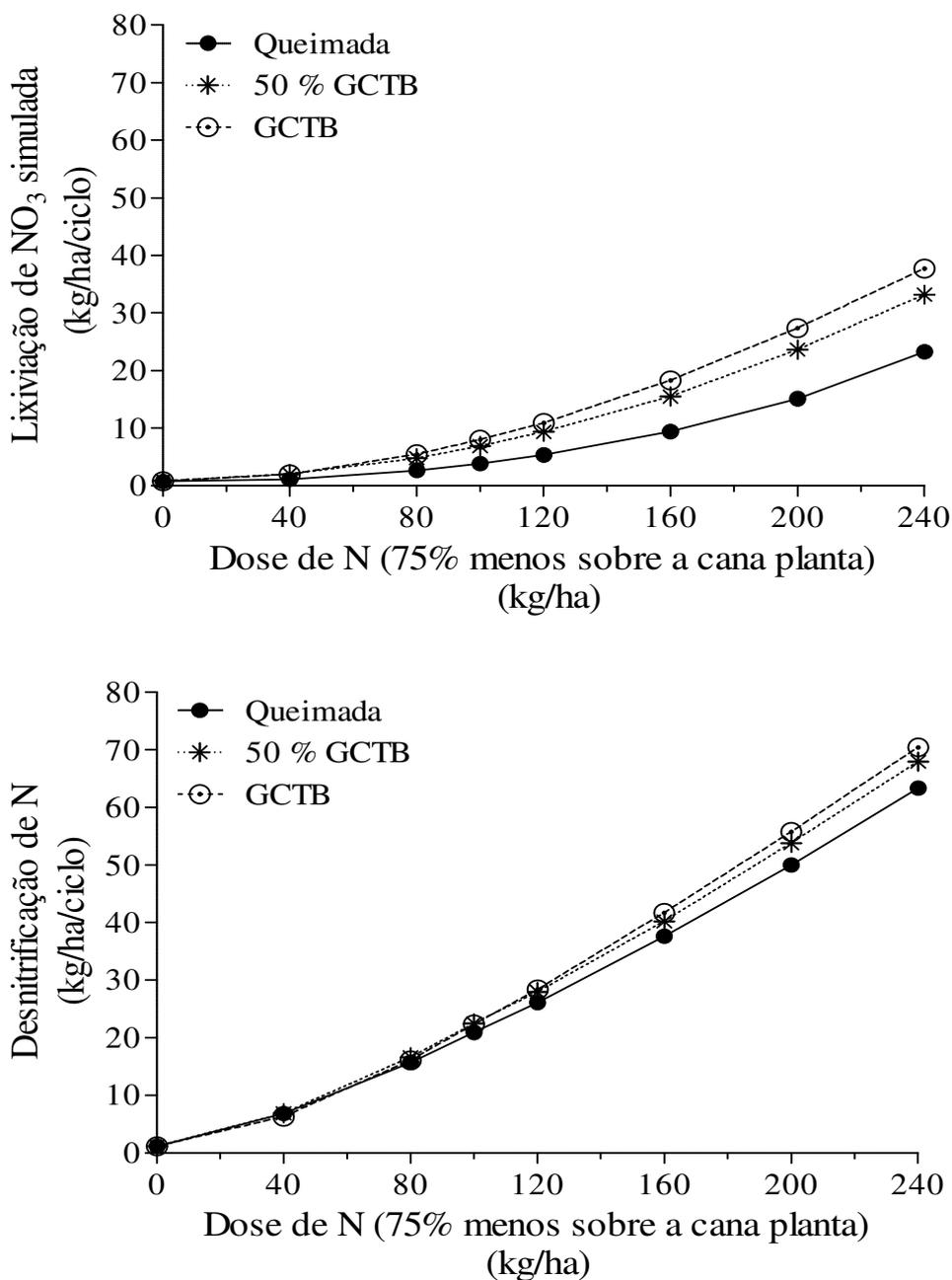


**Figura 3.** Simulação em longo prazo do rendimento médio de colmo em resposta à aplicação de N em sistemas de cultivo: cana sem queima (GCTB); com remoção de 50 % da palhada (50% GCTB) e cana queimada.

As perdas de N através da lixiviação e desnitrificação para o ambiente (Figura 4) foram simuladas para aumentar com as doses de N aplicadas, e para ser maior nos sistemas com acúmulo de palha do que no com queima da palha, assim como observado em outros

estudos de simulação (Keating et al., 1997; Thorburn et al., 2001b), refletindo o fato de que nem todo o N adicional reciclado nos sistemas com acúmulo de palha é utilizado pela cultura.

As perdas por desnitrificação (Figura 4) foram maiores que a perda por lixiviação, na combinação solo-clima simulada. O conteúdo de matéria orgânica do solo (MOS) foi maior nas camadas superiores dos solos com acúmulo de palha, tanto no experimento (Thorburn et al., 2000; 2012, Resende et al., 2006; Pinheiro et al., 2010) como na simulação (Figura 2). Este aumento na MOS pode resultar em maior taxa de mineralização e grande liberação de nitrato para a solução do solo, sendo estas condições favoráveis às perdas de N.



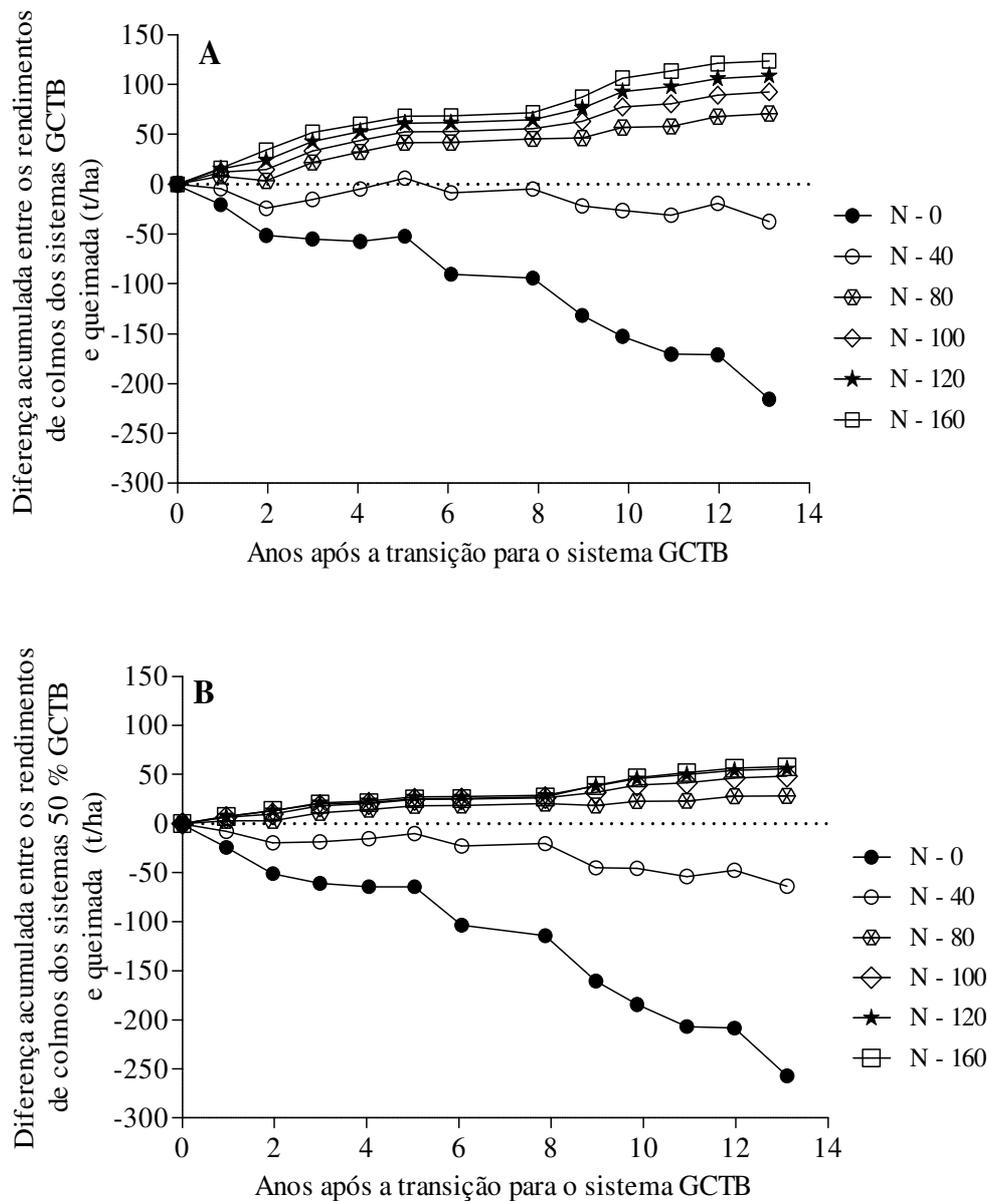
**Figura 4.** Valor médio simulado em longo prazo da lixiviação de nitrato e desnitrificação em resposta à aplicação de nitrogênio em sistemas de cultivo: cana sem queima (GCTB); com remoção de 50 % da palhada (50% GCTB) e cana queimada.

### 4.5.3 Dinâmica dos Requerimentos de N da Cultura

Se o carbono aumenta como resultado da mudança de manejo da lavoura de cana, ao passar a acumular palha sobre o solo, então, parte do N será imobilizado. Assim, os efeitos do acúmulo da palha sobre o requerimento de N da cultura podem ser: (1) maior requerimento inicialmente para atender ambas as demandas, da imobilização e da cultura, e então, (2) reduzir a necessidade de N com o tempo, quando o teor de C do solo e o processo de mineralização-imobilização alcançarem o equilíbrio. Uma vez em equilíbrio, o N imobilizado através da decomposição da palhada é balanceado pelo aumento do N mineralizado, devido ao aumento da MOS (Basanta et al., 2003; Meier et al., 2006; Robertson and Thorburn, 2007b).

Os rendimentos de colmos obtidos com a aplicação da dose ótima para o sistema cana queimada ( $80 \text{ kg ha}^{-1}$  para soqueira, Figura 3) foram comparados, nas simulações, com os rendimentos do sistema GCTB e nas diferentes doses de N aplicadas. O objetivo da comparação foi determinar a duração do período em que a MOS esteve em desequilíbrio e o requerimento de palha sobre a superfície do solo durante este período. As diferenças acumuladas (aumento ou diminuição) entre os rendimentos simulados nos sistemas com palha acumulada no solo (seis doses de N) e a cana queimada (na dose ótima) são apresentadas em função do tempo (Figura 5). Foi escolhida essa forma de expressão (diferença acumulada) para reduzir o efeito da variabilidade ano a ano (Figure 1) sobre os resultados.

Nas doses N-0 e N-40, os rendimentos simulados sob os sistemas 50% GCTB e GCTB foram em geral menores que na cana queimada (Figura 5), isto é, a diferença acumulada aumentou (valor negativo), a partir da transição do sistema com queima para o sistema com acúmulo de palha no solo. Na dose de N-80, a diferença acumulada foi próxima a zero nos dois primeiros anos após a transição, em ambos os sistemas com palha sobre o solo, e aumentou (valor positivo) em seguida. Para as maiores doses de N simuladas, os rendimentos tendem a ser maiores nos sistemas 50 % GCTB e GCTB (isto é, a diferença acumulada aumenta e com valor positivo) a partir da transição da cana queimada para a sem queima. A semelhança entre os rendimentos, no final do primeiro ciclo e no início do segundo ciclo (isto é, no sexto e oitavo ano, Figura 5), mostra reduzido efeito do manejo da palhada no segundo ciclo de crescimento da cana.



**Figura 5.** Alterações simuladas na **diferença acumulada entre os rendimentos de colmos dos sistemas cana crua (GCTB); remoção de 50 % da palha (Half GCTB)** (em resposta a seis doses de N) e **cana queimada (com aplicação de 80 kg N ha<sup>-1</sup>) ao longo do tempo**, após a transição do sistema cana queimada para cana crua, em Linhares-ES.

## 4.6 DISCUSSÃO

Alguns estudos têm mostrado a capacidade dos modelos para simular o efeito do manejo do resíduo sobre o C e N e rendimento da cultura em ampla classe de ambientes na Austrália e África do Sul. Nestes estudos, foram modelados experimentos comparando em longo prazo, os efeitos da queima e do acúmulo dos resíduos da cana, em ciclos da cultura de 15 anos em Abergowrie e 6 anos em Mackay em Queensland, Austrália, e 62 anos em Mount Edgecombe, South Africa (Thorburn et al., 1999, 2001b, 2002b). Usando as características do clima e solo da área experimental, rendimento e conteúdo C do solo, foram bem representados pelo modelo APSIM (Figura 1 e 2), especialmente considerando que os fatores que poderiam afetar o experimento, não foram considerados no modelo como tombamento, volatilização da ureia e a incerteza de alguns dados climáticos.

Os valores simulados refletiram a tendência em longo prazo, do C do solo aumentar no sistema com palha acumulada, observando também declínio menos pronunciado no sistema cana queimada. Pouca mudança no estoque de C do solo das parcelas sem queima também foi observado aplicando o modelo Century (Valis et al., 1996). A ausência de resposta observada por Robertson and Thorburn (2007b) na Austrália foi devido à idade do experimento, apenas dois anos, e com isso o pequeno acúmulo de C e entrada de N no sistema.

A simulação da dinâmica do C orgânico do solo em estudos de longa duração foi conduzida através de experimentos com vários períodos (de 1 a 60 anos) e sob diferentes climas, solos, adubações e adições de material orgânico no Brasil e em Mount Edgecombe-South Africa (Galdos et al., 2009) usando o modelo Century. Estes estudos apresentaram valores simulados próximos aos valores medidos, porém o desempenho estatístico dos resultados da Austrália não foram apresentados. Este estudo mostrou que a produção de cana-de-açúcar tem potencial para responder positivamente aos sistemas GCTB e 50 % GCTB para as condições climáticas e de solo com boa drenagem similar a Linhares-ES (Figure 3). O potencial para aumento dos rendimentos de cana em sistema com acúmulo de palha neste estudo são similares às conclusões dos estudos simulados na Austrália (Thorburn et al., 1999) e África do Sul (Thorburn et al., 2002). A resposta positiva à palhada foi encontrada em alguns experimentos no (Brasil Pinheiro et al., 2010; Resende et al., 2006) e Austrália (Wood, 1991), mas não foi totalmente investigada em sistemas com 50 % GCTB ou outros níveis de palha. A remoção de metade da palha reduz a extensão do aumento potencial do rendimento de colmo no sistema com palha (Figura 3). Entretanto, é provável que exista uma quantidade de palha, possível de ser removida sem afetar substancialmente o rendimento. Novas simulações e estudos de campo são necessários para determinar que quantidade poderia ser removida.

Os resultados da simulação mostraram que a magnitude da resposta do rendimento de colmo para o sistema com acúmulo de palha dependeu da quantidade de N-fertilizante aplicado. Alcançar o potencial máximo de produção do sistema com cobertura de palha exige níveis adequados de N disponíveis para a cultura (Thorburn et al., 2004, Fortes et al., 2011). Estudos anteriores encontraram que, com a aplicação de doses adequadas de N, o rendimento no sistema GCTB foi reduzido durante alguns anos (5 anos aproximadamente) após o acúmulo da palha, tornando-se em seguida, maiores que no sistema cana queimada (Thorburn et al., 2004). A redução temporária foi causada pela imobilização no curto prazo do N assim que a MOS aumentou, em resposta ao acúmulo de palhada sobre solo. Em baixas doses, o rendimento no sistema GCTB foi consideravelmente menor que no sistema cana queimada, com o oposto acontecendo em altas doses de N. Neste estudo não houve efeito aparente em curto prazo nos resultados da simulação. A aplicação de doses de N maiores que as ideais para sistemas com queima da cana (isto é, 80 kg ha<sup>-1</sup>) resultaram em maiores rendimentos de cana,

e baixas doses de N resultaram em rendimentos mais baixos. (Figura 5). A razão para não haver o efeito do desequilíbrio em curto prazo neste estudo não está clara. Este desequilíbrio seria afetado pela relação C:N da palha e do solo, fatores estes que podem ter sido diferentes na área simulada neste estudo comparado com estudos anteriores. Entretanto a diferença entre nossos resultados e aqueles de Thorburn et al. (2004), indicam que o efeito da palha sobre a dinâmica do N no solo e requerimentos de N da cultura em curto prazo, podem ser específicos da área, e generalizações devem ser evitadas.

É provável que as perdas médias ambientais de N sejam maiores nos sistemas com palha sobre o solo em todas as doses de N aplicadas. (Figura 4). Os resultados da desnitrificação estão consistentes com os de Weier et al. (1998) e Thorburn et al. (2010). Porém não existem comparações de perdas de N em diferentes sistemas de manejo da palha, especialmente em diferentes doses de N. Sendo assim, sugere-se que doses de N-fertilizante acima do recomendado em sistema com palha acumulada devem ser evitadas.

A magnitude das perdas ambientais de N simuladas aumentam no sistema GCTB e geralmente estão de acordo com resultados de experimento de campo. Reichardt et al. (1982) obteve perda total de N entorno de 15 kg N ha<sup>-1</sup> com a aplicação de 90 kg N ha<sup>-1</sup>, com a contribuição de 6,0 kg ha<sup>-1</sup> do fertilizante. Oliveira et al. (2002) trabalhando com doses de N-uréia marcadas com <sup>15</sup>N, observaram que a lixiviação do N-fertilizante não foi mensurável, mas houve lixiviação de 4,5 kg N da palhada da cana.

O estudo de simulação não considerou as perdas por volatilização da NH<sub>3</sub>, que poderiam ocorrer se a ureia fosse aplicada na superfície do solo. Nas simulações a uréia foi representada sendo enterrada no solo (camada 0-5 cm). Se a uréia fosse aplicada em superfície e as perdas de N por volatilização fossem consideradas, os rendimentos simulados seriam menores. Considerando 30 a 50 % de perdas de N por volatilização (Oliveira et al., 1999; Freney et al., 1994; Costa et al., 2003), as simulações das doses ótimas para os sistemas cana queimada (80 kg N ha<sup>-1</sup>) e 50 % GCTB e GCTB (120 and 160 kg N ha<sup>-1</sup>, respectivamente; Figura 3) apresentariam uma queda (valores negativos) ou nenhuma (próxima a zero) diferença acumulada nos rendimentos de colmos. Dessa forma, a duração do período de queda no rendimento seria maior, assim como ocorreu com a menor dose aplicada (40 kg N ha<sup>-1</sup>; Figura 4). Portanto, será importante evitar a volatilização de NH<sub>3</sub> em culturas cobertas com palha enterrando, por exemplo, os adubos contendo ureia ou amônia,

Os aspectos não considerados na simulação foram o efeito de pragas, doenças, diferenças na variedade de cana do Brasil, volatilização do N da ureia e particionamento das perdas de N durante a desnitrificação em emissões de N<sub>2</sub>O e NO<sub>x</sub>. Novas simulações com estes fatores podem ser valiosas para estabelecer a acurácia dos resultados simulados, e adquirir ganhos de conhecimento para a eficiência do sistema GCTB em outras regiões brasileiras. Ao longo dos últimos anos avanços significativos no modelo APSIM têm sido realizados no modelo para simular a dinâmica do N (Thorburn et al., 2005) e perdas gasosas de N (Thorburn et al., 2010) nos sistemas com cana-de-açúcar.

As respostas ao acúmulo de palha sobre o solo dependem das características do clima e solo, assim, a análise do manejo da palha deveria ser estendida para outros ambientes além dos tabuleiros costeiros. Os modelos de sistema de cultivo são eficientes para uma análise mais ampla, sobre o impacto da palha da cana no solo e na cultura. Estes estudos são relatados para diferentes cenários na Austrália (Thorburn et al., 1999; 2004), África do Sul (van Antwerpen et al., 2002; Thorburn et al., 2002b) and Brasil (Galdos et al., 2009). Presume-se que se o aumento no rendimento de cana é esperado para sistemas GCTB, resultados simulados são valiosos para tomada de decisão sobre mudanças necessárias no manejo da adubação nitrogenada desses sistemas e nos sistemas com diferentes níveis de palha sobre o solo, devido ao aumento do uso da palhada da cana para a co-geração de energia térmica ou etanol (pela rota celulósica de produção) nas destilarias brasileiras.

## 4.7 CONCLUSÕES

O modelo de simulação para a cultura da cana-de-açúcar APSIM-Sugar foi eficiente na simulação do rendimento de colmos e C orgânico do solo do experimento de campo sob cultivo da cana com e sem a remoção da palhada pela queima.

Os sistemas de cultivo com acúmulo de palha sobre o solo simulados promoveram maiores rendimentos de colmos que o sistema cana queimada em todas as doses de N estudadas, alcançando potencial máximo de produção com nível de N superior ao aplicado ( $80 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ ) nos canaviais da região.

Os resultados da simulação indicam que não houve redução temporária no rendimento de colmos, causada pela imobilização do N no período de transição da colheita da cana queimada para cana crua, efeito este comumente encontrado em outros estudos de simulação. Sendo assim, generalizações quanto ao efeito da palha sobre a dinâmica do N no curto prazo e sobre os requerimentos de N para cultura não são recomendadas. Da mesma forma, as especificidades de cada área de produção devem ser consideradas na tomada de decisão quanto ao manejo da adubação para cana crua.

Maiores diferenças acumuladas de rendimento foram alcançadas ao longo do tempo, quando a aplicação de N foi igual ou superior à dose ideal para sistemas sem queima (isto é  $80 \text{ kg ha}^{-1}$ ), ocorrendo resposta inversa na menor dose de N. Os resultados sugerem que a deposição de resíduos da colheita e a aplicação de fertilizantes em ciclos sucessivos devem promover efeito residual de longo prazo e as doses de N atualmente aplicadas na cana crua poderão ser reduzidas. Porém a escala de tempo apropriada para reduzir a aplicação de N pode variar entre as áreas de cultivo da cana.

Os resultados da simulação também indicaram maiores perdas ambientais de N-fertilizante no sistema sem queima quando comparado ao sistema com queima. Por essa razão, cuidado especial deve ser tomado para evitar a aplicação em excesso de N afim de que se evite a contaminação do ambiente e não comprometa a viabilidade econômica da cultura.

## 5 CONCLUSÕES GERAIS

O levantamento bibliográfico (base de dados) permitiu concluir que a manutenção da palhada sobre o solo após a colheita da cana crua conduz a alterações positivas nos atributos edáficos, promovendo a adição de nutrientes e carbono orgânico ao solo, melhorando sua qualidade. Porém, os resultados experimentais indicam que as alterações positivas não surgem em curto prazo, mas ao longo do tempo.

A adubação nitrogenada em soqueiras em canavial colhido sem queima da palhada proporcionou aumentos na produtividade agrícola (t colmos ha<sup>-1</sup>) e agroindustrial (t Pol ha<sup>-1</sup>). Os rendimentos máximos foram observados para as doses de 94 e 131 kg ha<sup>-1</sup> de N, as quais estão acima da dose média (80 kg N ha<sup>-1</sup>) usada para promover aumentos na produtividade nesta região.

O modelo de simulação para a cultura da cana-de-açúcar APSIM-Sugarcane pode ser uma boa ferramenta para simular o efeito da manutenção da palhada sobre a dinâmica temporal do carbono e do nitrogênio no agroecossistema cana-de-açúcar em solo de Tabuleiro Costeiro. Os resultados de rendimento de colmo e C orgânico do solo do experimento de campo foram bem representados pelo modelo.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAMO FILHO, J.; MATSUOKA, S.; SPERANDIO, M.L. Resíduo da colheita mecanizada de cana crua. *Álcool e Açúcar* v. 67, p. 23-25, 1993.
- ANDERSON, T.H.; DOMSCH K.H. The metabolic quotient for CO<sub>2</sub> (qCO<sub>2</sub>) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions such as pH, on the microbial biomass of the soil. *Soil Biol Biochem* v.25, p.393-395, 1993.
- ANDERSON, J.P.E.; DOMSCH, K.H. Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of selected soils. *Soil Science*, New Brunswick, v.130, p.211-216, 1980.
- ANJOS, L.H.C. Caracterização, gênese, classificação e aptidão agrícola de uma seqüência de solos do terciário na região de Campos, RJ. Itaguaí, RJ, 1985. 160f. Dissertação (Mestrado em Agronomia- Ciência do solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 1985.
- ARAÚJO, M.S.; DELLA LUCIA, T.M.C.; VEIGA, C.E.; NASCIMENTO, I.C. Efeito da queima da palhada de cana-de-açúcar sobre comunidade de formicídeos. *Ecologia Austral*, v.14, p.191-200, 2004.
- ARAÚJO FILHO, J.C. Investigações preliminares sobre a pedogênese de horizontes coesos em solos dos tabuleiros costeiros do Nordeste do Brasil. In: CINTRA, F.L.D.; ANJOS, J.L. DOS; IVO, W.M.P. (org.) Workshop Coesão em Solos dos Tabuleiros Costeiros, 2001, Aracaju. Anais... Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, p.123 139.
- ARAÚJO, R.A.; ARAÚJO, M.S.; GONRING, A.H.R.; GUEDES, R.N.C. Impacto da queima controlada da palhada da cana-de-açúcar sobre a comunidade de insetos locais. *Neotropical Entomology*, v.34, n.4, p.649-658, 2005.
- BALL-COELHO, B.; TIESSEN, H., STEWART, J.W.B.; SALCEDO, I.H. SAMPAIO, E.V.S.B. Residue management effects on sugarcane yield and soil properties in northeastern Brazil. *Agronomy Journal* v.85, p.1004-1008, 1993.
- BASANTA, M.V.D.; DOURADO NETO, K.; REICHARDT, O.O.S.; BACCHI, J.C.M.; OLIVIERA, P.C.O.; TRIVELIN, L.C.; TIMM, T.T.; TOMINAGA, V.; CORRECHEL, F.A.M.; CASSARO, L.F.; PIRES, AND MACEDO J.R. Management effects on nitrogen recovery in a sugarcane crop grown in Brazil. *Geoderma* v.116, n.8, p.235–248, 2003..
- BAYMAL, A.C. Cultura da cana: Aos agricultores de mecejena, Ceará – Brasil agrícola, Ano X, Abril, no 112, pp 110-113, 1924.
- BENAZZI, E.S. Produtividade, Fertilidade e Fauna do Solo em um Argissolo Amarelo Cultivado com Cana-de-Açúcar sob Diferentes Sistemas de Colheita. 2011, 112 f. Dissertação (Mestrado). UFRRJ, Seropédica, RJ.
- BLAIR, N. Impact of cultivation and sugar-cane green trash management on carbon fractions and aggregate stability for a Chromic Luvisol in Queensland, Australia. *Soil Till Res*, v.55, p.183-191, 2000.

BRAIDA, J.A.; REICHERT, J.M.; VEIGA, M & REINERT, D.J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, p.605-614, 2006.

BRAUNACK, M.V.; PEATEY, T.C. Changes in soil physical properties after one pass of sugarcane haul out unit. *Aust. J. Exp. Agric.*, v.39, p.733-742, 1999.

BRISTOW, K. AND CAMPBELL, G. On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.31, p.159-166, 1984.

CAMPANHOLA, C. Compromissos internacionais: Convenção sobre diversidade biológica. In: MANZATO, C.V; FREITAS JÚNIOR; PERES, J.R.R. (Ed). *Uso agrícola dos solos brasileiros*. Rio de Janeiro. Embrapa Solos, 2002. p.135-144.

CAMPOS, D. C. Potencialidade do sistema de colheita sem queima da cana-de açúcar para o sequestro de carbono. 2003, 103f. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior Luis de Queiroz. Piracicaba, SP.

CANELLAS, L.P.; BUSATO, J.G.; DOBBS, L.B.; BALDOTTO, M.A.; RUMJANEK, V.M.; AND OLIVARES, F.L. Soil organic matter and nutrient pools under long-term non-burning management of sugarcane. *European Journal Soil Science*, v.61, n.3, p.375-383, 2010.

CANTARELLA, H.; ROSSETO, R., BARBOSA, W.; PENNA, M.J.; RESENDE, L.C.L. Perdas de nitrogênio por volatilização da amônia e resposta da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada, em sistema de colheita de cana sem queima prévia. *Congresso Nacional da Stab. 7 Londrina. Anais. Álcool Subpr.* p.82-87, 1999.

CARLIN, S.D.; SILVA, M.A. AND ROSSETO, R.. Parâmetros biométricos e produtividade da cana-de-açúcar após tombamento dos colmos. *Bragantia*, Campinas, v.67, n.4, p.845-853 2008.

CEBALLOS, J.C.; BOTTINO, M.J. AND DE SOUZA, J.M. A simplified physical model for assessing solar radiation over Brazil using GOES 8 visible imagery. *Journal of Geophysics. Res.*, 109, D02211, doi:10.1029/2003JD003531, 2004.

CEDDIA, M.B.; ANJOS, L.H.C.; LIMA, E.; SILVA, L.A. & RAVELLI NETO, A. Sistemas de colheita de cana-de-açúcar e alterações nas propriedades físicas de um solo Podzólico amarelo no Estado do Espírito Santo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.34, n.8, p.1467-1473, 1999.

CEDDIA, M.B. Efeitos do sistema de corte na produção de cana-de-açúcar e em propriedades físicas de solo de Tabuleiro no Espírito Santo. 1996. 89f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 89p.

CERRI, C.C.; FELLER, C. & CHAUVEL, A. Evolução das principais propriedades de um latossolo vermelho escuro após desmatamento e cultivo por doze e cinquenta anos com cana-de-açúcar. *Cah. ORSTOM, Série Pedologia*, v.26, p.37- 50, 1991.

CHRISTENSEN, B.T. Physical fractionation of soil organic matter in primary particle size and density separates. *Advances in Soil Science*, v. 20, p. 1-90, 1992.

CHRISTENSEN, B.T. Structure and organic matter storage in agricultural soils. *Advances in Soil Science*, Boca Raton, CRC Press. p. 143-159, 1996.

CINTRA, F.L.D. Disponibilidade de água no solo para porta-enxertos de citros em ecossistema de Tabuleiro Costeiro. *Solos e nutrição de plantas*. Piracicaba: ESALQ/USP. 1997. 90p. Tese Doutorado.

CINTRA, F.L.D.; PORTELA, J.C.; NOGUEIRA, L.C. Caracterização física e hídrica em solos dos Tabuleiros Costeiros no Distrito de Irrigação Platô de Neópolis. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.8, n.1, p.45-50, 2004.

COLETI, J.T.; CASAGRANDE, J.C.; STUPIELLO, J.J.; RIBEIRO, L.D.; OLIVEIRA, G.R. Remoção de macronutrientes pela cana planta e cana soca em Argissolos, variedades RB835486 e SP813250. *STAB. Açúcar e Álcool e Subprodutos*, Piracicaba, v.24, n.5, p.32-36, 2006.

CONCEIÇÃO, M.A.F.; MARIN, F.R. Avaliação de modelos para a estimativa de valores diários da radiação solar global com base na temperatura do ar. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Piracicaba, v.15, n.1, p.103-108, 2007.

COPERSUCAR. Cooperativa de produtores de cana, açúcar e álcool do estado de São Paulo Ltda. *Boletim Técnico Copersucar: edição especial*, São Paulo, 1995, 24p.

COPERSUCAR. (1980). *Amostragem e análise da cana-de-açúcar*. São Paulo: 1980, 37 p

CORREIA, G.G.; MOURA, R.F.; RODRIGUES, J.J.V.; BARROS, M.F.C.; CORREA, K.G. Caracterização da capacidade de retenção e disponibilidade de água em solos de tabuleiro costeiro Paraibanos. *Caatinga*, v.21, n.3, p.156-162, 2008.

CORREIA, M.E.F.; OLIVEIRA, L.C.M. de. *Fauna do solo: Aspectos Gerais e Metodológicos*, Seropédica: Embrapa Agrobiologia, fev. 2000. 46p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 112).

COSTA, M.C.G. Eficiência de fontes nitrogenadas na cultura da cana de açúcar em sistema de colheita sem despalha a fogo. 2001. 79f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Escola Superior "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

COSTA, M.C.G.; VITTI, G.C.; CANTARELLA, H. Volatilização de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. *R. Bras. Ci. Solo*, v.27, p.631-637, 2003.

CZYCZA, R.V. Quantidade e qualidade da matéria orgânica do solo em sistemas de colheita com e sem queima da cana de açúcar. 2009. 92p. Dissertação (mestrado) - Escola superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.

DELGADO, A.A.; MAFRA, R.L. Cana com ponta: uma necessidade ou vantagem industrial? *Revista Usineiro*, São Paulo, v.4, n.19, p.58-65, 1989.

DLAMINI, T.C.; HAYNES, R.J. Influence of agricultural land use on the size and composition of earthworm communities in Northern KwaZulu-Natal, South Africa. *Applied Soil Ecology*. v.27, p.77-88, 2004.

DOMINGUEZ, D.A.L. Depreciation of cane caused burn fire and by delays in shipping. *International Sugar Journal*, v.25, p.539-540, 1923.

DOMINY, C.S.; HAYNES, R.J. & VAN ANTWERPEN, R. Loss of soil organic matter and related soil properties under long-term sugarcane production on two contrasting soils. *Biol. Fertil. Soils*, v.36, p.350-356, 2002.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A (Eds) *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison: Soil Science Society of America. p. 3-21, 1994.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Espírito Santo. Boletim técnico, Rio de Janeiro, RJ, EMBRAPA/SNLCS, n.45, 461 p, 1978.

EMBRAPA. Centro nacional de pesquisa de solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Ro de Janeiro: Embrapa solos, 2006, 306p.

ERNANI, P.R.; ALMEIDA, J.A.; SANTOS, F.C. Potássio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F. FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. *Fertilidade do solo*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.551-594.

FAO. World Reference Base for Soil Resources. Rome: ISSS–ISRIC–FAO. World Soil Resources Report No. 84. 1998.

FAO. FAOSTAT Statistical Database. FAO, Rome. 2010.

FONSÊCA, M.H.P.; GUERRA, H.O.C.; LACERDA, R.D.; BARRETO, A.N. Uso de propriedades físico-hídricas do solo na identificação de camadas adensadas nos Tabuleiros Costeiros, Sergipe. *Rev. Bras. de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.11, p.368-373, 2007.

FORTES, C.; TRIVELIN, P.C.O.; FERREIRA, D.A.; VITTI, A.C.; FRANCO, H.C.J.; OTTO, R. Recovery of Nitrogen (<sup>15</sup>N) by Sugarcane from Previous Crop Residues and Urea Fertilisation Under a Minimum Tillage System. *Sugar Tech.*, v.13, n.1, p.42–46, 2011a.

FORTES, C.; TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C.; OTTO, R.; FRANCO, H.C.J.; FARONI, C.E. Stalk and sucrose yield in response to nitrogen fertilization of sugarcane under reduced tillage. *Pesquisa agropecuária brasileira*, v.48, n.1, p.88-96, 2013.

FRANCO, H.C.J.; TRIVELIN, P.C.O.; FARONI, C.E.; VITTI, A.C.; OTTO, R. Stalk yield and technological attributes of planted cane as related to nitrogen fertilization. *Scientia Agrícola*, v.67, n.5, p.579-590, 2010.

FRANCO, H.C.J.; OTTO R.; FARONI, C.E.; VITTI, A.C.; OLIVEIRA, E.C.A.; TRIVELIN, P.C.O. Nitrogen in sugarcane derived from fertilizer in Brazilian field conditions. *Field Crops Research*, v.121, p.29-41, 2011.

FRENEY, J.R.; DENMEAD, O.T.; WOOD, A.W.; SAFFIGNA, P.G. Ammonia loss following urea addition to sugar cane trash blankets. *Proceedings of Australian Society of Sugar Cane Technologists, 1994 Conference*. Brisbane p. 114-121.

FUENTES-RAMÍRES, L.E.; CABALLERO-MELLADO, J.; SEPÚLVEDA, J.; MARTÍNEZ-ROMERO, E. Colonization of sugarcane by *Acetobacter diazotrophicus* is inhibited by high N-fertilization. *FEMS Microbiology Ecology*, v.29, p.117-128, 1999.

GALDOS, M.V.; CERRI, C.C.; CERRI, C.E.P. Soil carbon stocks under burned and unburned sugarcane in Brazil. *Geoderma*, v.153, p.347-352, 2009.

GRAHAM, M.H.; HAYNES, R.J.; MEYER, J.H. Changes in soil fertility induced by trash retention and fertiliser applications on the long-term trash management trial at Mount Edgecombe. *Proc S Afr Sug Technol Ass.*, v.74, p.109-113, 2000.

GRAHAM, M.H.; HAYNES, R.J.; MEYER, J.H. Changes in soil chemistry and aggregate stability induced by fertilizer applications, burning and trash retention on a long-term sugarcane experiment in South Africa. *European Journal Soil Science*, v.53, p.589-598, 2002a.

GRAHAM, M.H.; HAYNES, R.J.; MEYER, J.H. Soil organic matter content and quality: Effects of fertilizer applications, burning and trash retention on a long-term sugarcane experiment in South Africa. *Soil Biol. Biochem*, v.34, p.93-102, 2002b.

GRAHAM, M.H.; HAYNES, R.J.; ZELLES, L.E.; MEYER, J.H. Long-term effects of green cane harvesting versus burning on the size and diversity of the soil microbial community. *Proc. of the S. African Sugar Technologists' Association*, v.75, p.228-234, 2001.

GUEDES, C.A.B. Volatilização de N e alterações químicas do solo sob cultivo de cana de açúcar com aplicação de vinhaça e diferentes formas de colheita. 2002. 90p. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

JACOMINE, P.K.T. Distribuição geográfica, características e classificação dos solos coesos dos tabuleiros costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS. Cruz das Almas, BA: Anais... Aracaju- SE. 1996. 80p.

KEATING, B.A.; KINGSTON, G.; WOOD, A.W.; BERDING, N.; MUCHOW, R.C. Monitoring nitrogen at the mill to guide N fertilisation practice on farm. *PROCEEDINGS OF THE AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 1999 Conference*. ASSCT, Brisbane, pp 10-19.

KEATING, B.A.; CARBERRY, P.S.; HAMMER, G.L.; PROBERT, M.E.; ROBERTSON, M.J.; HOLZWORTH, D.; HUTH, N.I.; HARGREAVES, J.N.G.; MEINKE, H.; HOCHMAN, Z.; MCLEAN, G.; VERBURG, K.; SNOW, V.; DIMES, J.P.; SILBURN, M.; WANG, E.; BROWN, S.; BRISTOW, K.L.; ASSENG, S.; CHAPMAN, S.; MCCOWN, R.L.;

FREEBAIRN, D.M.; SMITH, C.J. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. *Eur. J. Agron.* 18: 267-288, 2003.

KEATING, B.A.; VERBURG, K.; HUTH, N.I.; ROBERTSON, M.J. Nitrogen management in intensive agriculture: sugarcane in Australia. In: KEATING, B.A., WILSON, J.R. (Eds.), *Intensive Sugarcane Production: Meeting the Challenges Beyond 2000*. CAB International, Wallingford, UK, pp. 221–242, 1997.

KLADIVKO, E.J.; MACKAY, A.D.; BRADFORD, J.M. Earthworms as a factor in the reduction of soil crusting. *Soil Sci. Am. J.*, v.50, p.191-196, 1986.

KORNDORFER, G.H; MARTINS, M. Importância da adubação na qualidade da cana de açúcar. *STAB*, Piracicaba, v.10, n.3, p.26-31, 1992.

LADO, M.; PAZ, A.; BEM-HUR, M. Organic matter and aggregate size interactions in infiltration, seal formation, and soil loss. *Soil Sci. Soc. Am. Journal*, v.68, p.935-942, 2004.

LARA, CABEZAS, W.A.R.; TRIVELN, P.C.O.; KORNDORFER, G H.; PEREIRA, S. Balanço nitrogenado da adubação sólida e fluida de cobertura na cultura de milho em sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.24, n.2, p.363-376, 2000.

LARSON, W. E.; PIERCE, F. J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Org.) *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison: SSSA, 1994. p. 37-51.

LAVELLE, P.; SPAIN, A.V. *Soil Ecology*. Dordrecht: Kluwer Academic Pub. 2001, 654p.

LEE, K.E.; WOOD, T.G. *Termites and soils*. London: Academic Press, 1971. 251p

LEME FILHO, J.R.A. Desenvolvimento da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) sob diferentes formas de colheita e de manejo do palhicho. 2009. 111p. Tese (Doutorado) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

LIBARDI, P.L. Dinâmica da água nos solos de tabuleiro. In: Araújo, Q. R. de. (org.). *500 anos de uso do solo no Brasil*. Ilhéus: UESC, 2002. p.581-596.

LIMA, H.V.; SILVA, A.P.; JACOMINE, P.T.K.; ROMERO, R.E.; LIBARDI, P.L. Identificação e caracterização de solos coesos no estado do Ceará. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.467-476, 2004.

LUCA, E.D.; FELLER, C.; CERRI, C.C.; BARTHÈS, B.; CHAPLOT, V.; CAMPOS, D.C.; MANECHINI, C. Avaliação de atributos físicos e estoques de carbono e nitrogênio em solos com queima e sem queima de canavial. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.789-800, 2008.

MACEDO, N.M.; BOTELHO, P.S.M.; CAMPOS, M.B.S. Controle químico de cigarrinha-daraiz em cana-de-açúcar e impacto sobre a população de artrópodes. *Stab – Açúcar, Alcool e Subprodutos*, v.21, p.30-33, 2003.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas. Piracicaba, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1989, 201p.

MARTINHO, A.F.; LIMA, E.; BERTO, A.; REIS, H. de Sá. Mesofauna do solo em sistemas de colheita de cana crua e queimada integrado ao uso de vinhaça, no estado do Espírito Santo. In: Fertbio, 2006, Bonito - MS. Anais.. Viçosa - MG: SBCS, 2006.

MAXWELL, F. Economic aspects of cane sugar production. Londres, Inglaterra. 1927.

MEIER, E.A.; THORBURN, P.J.; WEGENER, M.K.; BASFORD, K.E. The availability of nitrogen from sugarcane trash on contrasting soils in the wet tropics of North Queensland. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v.75, p.101–114, 2006.

MEIER, E.A. The availability of nitrogen in green cane trash blanketed soils in the wet tropics and its impact on productivity / profitability: A systems analysis. 2008. PhD Thesis. The University of Queensland, Brisbane, Australia.

MELO, D.A. A cultura da cana – *Ceres*. v.2, p.176-183, 1940, Brasil.

MENDOZA, H.N.S.; LIMA, E.; ANJOS, L.H.C.; SILVA, L.A.; CEDDIA, M.B.; ANTUNES, M.V.M. Propriedades químicas e biológicas de solo de tabuleiro cultivado com cana-de-açúcar com e sem queima da palhada. *Rev. Bras. Ciência do Solo*, v.24, p.201-207, 2000.

MENDOZA, H.N.S. Efeito de sistemas de colheita dos canaviais sobre propriedades químicas e biológicas em solo de tabuleiro no Espírito Santo. 1996. 113f, Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 1996. 113p.

MILLARD, P. The accumulation and storage of nitrogen by herbaceous plants. ***Plant Cell Environ.*** v.11, p. 1-8, 1988.

MITCHELL, R.D.J., THORBURN, P.J., LARSEN, P. Quantifying the loss of nutrients from the immediate area when sugarcane residues are burnt. *Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technology*, v.22, p.206-211, 2000.

MOÇO, M. K.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; CORREIA, M. E. F. Caracterização da fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais na região norte fluminense. *R. Bras. Ci. Solo*, vol. 29, p.555-564, 2005.

MOLINA, M. R. A torta de filtro e o bagaço no comportamento da produtividade, da biota e propriedades físicas de um Cambissolo, sob diferentes formas de colheita em cana-de-açúcar (*Saccharum sp.*). 1995. 90f, Tese Doutorado, UFRRJ Seropédica-RJ.

MUI, N.T.; PRESTON, T.R.; BINH, D.V.; LY, L.V.; OHLSSON, I. Effect of management practices on yield and quality of sugar cane and on soil fertility. *Livestock Research for Rural Development*, v.8, p.51-60, 1996.

MUTHUKUMARASAMY, R.; REVATHI, G.; LAKSHMINARASIMHAN, C. Influence of N fertilization on the isolation of *Acetobacter diazotrophicus* and *Herbaspirillum spp.* from Indian sugarcane varieties. *Biology and Fertility of Soils*, v.29, p.157–164, 1999.

MUTHUKUMARASAMY, R.; REVATHI, G.; LOGANATHAN, P. Effect of inorganic N on the population, in vitro colonization and morphology of *Acetobacter diazotrophicus* (syn. *Gluconacetobacter diazotrophicus*). *Plant and Soil*, v.243, p.91–102, 2002b.

NASCIMENTO, G.B.; ANJOS, L.H.C.; PEREIRA, M.G.; FONTANA, A.; SANTOS, H.G. Funções de pedotransferência do conteúdo de água em Latossolos Amarelos e Argissolos Amarelos. *Revista Brasileira de Ciência Agrária*, Recife, v.5, n.4, p.560-569, 2010.

NASCIMENTO, G.B.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; FONTANA, A.; SOUZA, M.R.P.F. Avaliação de propriedades edáficas em solos de tabuleiros costeiros da região norte do estado do rio de janeiro. *Rev. Agronomia*, v.38, p.37-44, 2004.

ODUM, HOWARD T. *Systems Ecology: An Introduction*. John Wiley, New York, 1983.

OLIVEIRA, E.C.A.; FREIRE, F.J.; OLIVEIRA, R.I.; FREIRE, M.B.G.S.; SIMÕES NETO, D.E.; SILVA, S.A.M. Extração e exportação de nutrientes por variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.1343-1352, 2010.

OLIVEIRA, M.W.; TRIVELIN, P.C.O.; BOARETTO, A.E.; MURAOKA, T.; MORTATTI, J. Leaching of nitrogen, potassium, calcium and magnesium in a sandy soil cultivated with sugarcane. *Pesquisa agropecuaria brasileira*. v. 37, n. 6, p. 861-868, 2002.

OLIVEIRA, M.W.; TRIVELIN, P.C.O.; BENDASSOLLI, J.A. Volatilização de amônia da uréia (15N) aplicada ao solo com e sem cobertura de palhada em diferentes manejos na adubação de soqueiras de cana-de-açúcar. *STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos*, v.18, n.1, 1999, 26p.

ORLANDO FILHO, J. Absorção dos macronutrientes pela cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), variedade CB 41-76 em três grandes grupos de solos do Estado de São Paulo. 1978. Tese (Doutorado), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 154p.

ORLANDO FILHO, J.; RODELLA, A.A.; BELTRAME, J.A.; LAVORENTI, N.A. Doses, fontes e formas de aplicação de nitrogênio em cana-de-açúcar. *STAB*, v.17, p.39-41, 1999.

ORLANDO FILHO, J.; HAAG, H.P.; ZAMBELLO JÚNIOR, E. Crescimento e absorção de macronutrientes pela cana-de-açúcar, variedade CB 41-76, em função da idade em solos do Estado de São Paulo. *Boletim Técnico Planalsucar*, v.2, p.1-128, 1980.

ORLANDO FILHO, J.; ROSSETTO, R.; MURAOKA, T.; ZOTELLI, H.B. Efeitos do sistema de despalha (cana crua x cana queimada) sobre algumas propriedades do solo. *STAB*, Piracicaba, v.16, p.30-33, 1998.

ORLANDO FILHO, J.; MACEDO, N.; TAKESH, H. *Seja o doutor do seu canavial*. Piracicaba: POTAFOS, 1994, 17 p. (Arquivo do Agrônomo, 6).

PASQUALIN, L.A. Influência da vinhaça e do método de colheita sobre a macrofauna edáfica na cultura da cana-de-açúcar. 2009. Dissertação (mestrado em Agronomia) Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR.

PHAN GIA TAN. Effect on production of sugar cane and on soil fertility of leaving the dead leaves on the soil or removing them. *Livestock Research for Rural Development*, v.7, p.49-53, 1995.

PINHEIRO, E.F.M.; LIMA, E.; CEDDIA, M.B.; URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M. Impact of pre-harvest burning versus trash conservation on soil carbon and nitrogen stocks on a sugarcane plantation in the Brazilian Atlantic forest region. *Plant Soil*, v.333, p.71-80, 2010.

PINHEIRO, L.B.A.; SANTOS, G.A.; GARAY, I. Efeito da Queimada da Palhada da Cana-de-Açúcar na População de Macroartrópodos Edáficos. In: XIII CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, Águas de Lindoia, 1996.

PINHEIRO, L.B.A. Estudo da macrofauna de solos cultivados com cana de açúcar, sob diferentes manejos de colheita crua e queimada. 1996. 128p. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo) – Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

PÔRTO, M.L.; ALVES, J.C.; DINIZ, A.A.; SOUZA, A.P.; SANTOS, D. Indicadores biológicos de qualidade do solo em diferentes sistemas de uso no Brejo Paraibano. *Rev. Ciência Agrotecnica*, v.33, p.1011-1017, 2009.

PRADO, R.M.; PANCELLI, M.A. Nutrição nitrogenada em soqueiras e a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. *STAB*, v.25, p.60-63, 2006.

PROBERT, M.E.; DIMES, J.P.; KEATING, B.A.; DALAL, R.C.; STRONG, W.M. APSIM's water and nitrogen modules and simulation of the dynamics of water and nitrogen in fallow systems. *Agric. Sys.*, v.56, p.1–28, 1998.

RAIJ, B.VAN.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2a. ed. Campinas: Instituto Agrônomo e Fundação IAC, p. 237-239, 1996, (Boletim Técnico, 100).

RAVELLI NETO, A.; LIMA, E. Caracterização de uma topossequência de solos sobre sedimentos do Terciário e Quaternário em Linhares-ES. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21, Campinas. Programas e resumos... Campinas: SBCS, p.166, 1987.

REICHARDT, K.; LIBARD, P.L.; URQUIAGA, S.C. Fate of fertilizer nitrogen in soil-plant systems with emphasis on the tropics. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AGROCHEMICAL: fate in food and the environment using isotope techniques, Rome. Proceedings Vienna: International Atomic Energy Agency, p.177-190, 1982.

REIS JUNIOR, F.B.; DOS REIS, V.M.; URQUIAGA, S.; DO'EREINER, J. Influence of nitrogen fertilization on the population of diazotrophic *Herbaspirillum* spp and *Gluconacetobacter diazotrophicus* in sugarcane (*Saccharum* spp.). *Plant Soil*, v.219, p.153–159, 2000.

REZENDE, J. de O. Solos coesos dos tabuleiros costeiros: limitações agrícolas e manejo. Salvador: SEAGRI/SPA, 117 p. (Série Estudos Agrícolas, 1), 2000.

RESENDE, A.S; XAVIER, R.P.; OLIVEIRA, O.C.; URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M. Long-term effects of pre-harvest burning and nitrogen and vinasse applications on yield of sugar cane and soil carbon and nitrogen stocks on a plantation in Pernambuco, N.E. Brazil. *Plant Soil*, v.281, p.339-351, 2006.

RIBEIRO, L. P. Premiers resultas sur la g nese des sols a horisons indures dans la region du Cruz das Almas, BA, Br sil. In: TABLE RONDE SUR L'ORGANIZATION ET DINAMIQUE INTERNE DE LA COUVERTURE PEDOLOGIQUE. Caen: CNRS, 1991, 99p.

RIDESA. Rede interuniversit ria para o desenvolvimento do setor sucroalcooleiro. Cat logo nacional de variedades "RB" de cana-de-a ugar. RIDESA, Curitiba, p. 136 p, 2010.

ROBERTSON, F.A.; THORBURN, P.J. Crop residue effects on soil C and N cycling under sugarcane. In: REES RM, BALL BC, CAMPBELL CD AND WATSON CA (Eds) Sustainable Management of Soil Organic Matter, Wallingford: CAB International. p.112-119, 2001.

ROBERTSON, F.A.; THORBURN, P.J. Management of sugarcane harvest residue: consequences for soil carbon and nitrogen. *Australian Journ Soil research*, v.45, p.13-23, 2001b.

ROBERTSON, F.A.; THORBURN, P.J. 2007. Management of sugarcane harvest residues: consequences for soil carbon and nitrogen. *Australian Journal of Soil Research* 45: 13-23.

ROSENFELD, A.H. Pre-harvest burning of sugar cane. *International Sugar Journal*, Vol. XLIII, abril, n.508, p.111-112, 1941, Londres, Inglaterra.

SANT'ANNA SAC, FERNANDES MF, IVO WMPM, COSTA JLS. Evaluation of soil quality indicators in sugarcane management in sandy loam soil. *Pedosphere*, v.19, p.312-322, 2009.

SANTANA, M.S.; OLIVEIRA, F.J.; MELO, L.J.O.T. Correla es gen ticas em alguns clones RB e em variedades de cana-de-a ugar. *Revista Brasileira de Ci ncias Agr rias*, v.5, p.460-467, 2010.

SCHULTZ, N.; LIMA, E.; PEREIRA, M.G.; ZONTA, E. Efeito residual da aduba o de canaplanta e da aduba o nitrogenada e pot ssica na cana-soca colhidas com e sem a queima de palhada. *R. Bras. Ci. Solo*, v.34, p.811-820, 2010.

SCHULTZ, N. Efeito residual da aduba o em cana planta e aduba o nitrogenada em cana de primeira soca com aplica o de vinha a. 2009. 59f. Disserta o (Mestrado em Agronomia, Ci ncia do Solo) - Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Serop dica, RJ.

OLIVEIRA, C.A.A. Modelagem e validação experimental de um cortador basal com discos segmentados. 2003. 110f, Tese (Doutorado). Universidade de Campinas, 110p. Campinas, SP.

SHIKIDA, P.F.A.; JUNQUEIRA, C.P.; STERCHILE, S.P.W. Mudanças no padrão tecnológico do corte de cana-de-açúcar: Uma análise preliminar do caso paranaense. *Rev. Ciências Empresariais-UNIPAR*, v.8, p.7-32, 2007.

SHUKLA, M.K.; LAL, R.; OWENS, L.B.; UNKEFER, P. Land use management impacts on structure and infiltration characteristics of soils in the north Appalachian region of Ohio. *Soil Science*, v.168, p.167-177 2003.

SILVA, A.J.N.; CABEDA, M.S.V. Modificações na matriz de um Argissolo Amarelo Coeso sob diferentes sistemas de manejo com cana-de-açúcar. *Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambiental*, v.10, p.554-562, 2006.

SILVA, A.J.N.; CABEDA, M.S.V.; LIMA, J.F.W.F. Efeito de sistemas de uso e manejo nas propriedades físico-hídricas de um Argissolo Amarelo de tabuleiro costeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p.833-842, 2005.

SILVA, da L.A. Efeitos da renovação do canavial com diferentes sistemas de colheita, implantado com cultivo mínimo, sobre as propriedades químicas do solo, análise do crescimento, produtividade e acúmulo de nitrogênio em cana soca. 2000. 151p. Dissertação (Mestrado). UFRRJ, Seropédica, RJ.

SILVA, L.A. Dinâmica do nitrogênio da uréia (15N) e utilização do N da palhada (15N) em cana soca colhida sob diferentes sistemas de manejo. 2004. 56f. Tese (Doutorado em Agronomia) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

SILVEIRA, J.A.G.; CROCOMO, O.J. Biochemical and physiological aspects of sugarcane (*Saccharum spp.*). I. Effects of NO<sub>3</sub> nitrogen concentration on the metabolism of sugar and nitrogen. *Energia Nuclear e Agricultura*, v.3, p.19-33, 1981.

SINGH, G.; CHAPMAN, S.C.; JACKSON, P.A.; LAWN, R.J. Lodging reduces sucrose accumulation of sugarcane in the wet and dry tropics. *Australian Journal Agr. Res.* v.53, p.1183-1195, 2002.

SKINNER, J.C.; HOGARTH, D.M.; WU, K.K. Selection methods, criteria, and indices. In: HEINZ, D.J (Ed.) *Sugarcane improvement through breeding*. Amsterdam: Elsevier. p.409-453, 1987.

SMITH, N.J.; MC GUIRE, P.J.; MACKSON, J.; HICKLING, R.C. Green cane harvesting a review with particular reference to the Mulgrave mill area. In: *PROCEEDINGS OF THE AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS*, Conference. ASSCT, Brisbane, p.21-27, 1984.

SOUZA, Z.M.; BEUTLER, N.A.; PRADO, R.M.; BENTO, M.J.C. Efeito de sistemas de colheita de cana-de-açúcar nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho. *Científica*, Jaboticabal, v.34, p.31-38, 2006.

SOUZA, Z.M.; PRADO, R.M.; PAIXÃO, A.C.S.; CESARIN, L.G. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.40, p.271-278, 2005.

STRONG, D.T.; SALE, P.W.G. & HELYAR, K.R. Initial soil pH affects the pH at which nitrification ceases due to self-induced acidification of microbial microsites. *Australian Journal Soil Res.*, v.35, p.565-570, 1997.

SUTTON, M.R.; WOOD, A.W.; SAFFIGNA, P.G. Long term effects of green cane trash retention on Herbert River soils. In: WILSON, J.R.; HOGARTH, D.M.; CAMPBELL, J.A.; GARSIDE, A.L. (Eds.). *Sugarcane: Research Towards Efficient and Sustainable Production*. Brisbane: CSIRO Division of Tropical Crops and Pastures. p.178–180, 1996.

SWIFT, M.J.; HEAL, O.W.; ANDERSON, J.M. *Decomposition in terrestrial ecosystems*. Oxford: Blackwell. 1979, 372p.

SZAKACS, G.G.J. Estoques de carbono e agregados do solo cultivado com cana-de-açúcar: efeito da palhada e do clima no centro-sul do Brasil. 2007. 115p. Tese (doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura- USP, Paulo, Piracicaba.

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. Agronomy Maringá*, v.32, n.1, p.61-68, 2010.

THORBURN, P.J.; BIGGS, J.S.; COLLINS, K.; PROBERT, M.E. Using the APSIM model to estimate nitrous oxide emissions from diverse Australian sugarcane production systems. *Agric. Ecosyst. Environ.*, v.136, p.343–350, 2010.

THORBURN, P.J.; KEATING, B.A.; ROBERTSON, F.A.; WOOD, A.W. Long-term changes in soil carbon and nitrogen under trash blanketing. *Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technol.*, v.22, p.217–224, 2000.

THORBURN, P.J.; MEIER, E.A.; PROBERT, M.E. Modelling nitrogen dynamics in sugarcane systems: Recent advances and applications. *Field Crops Research*, v.92, p.337-351, 2004.

THORBURN, P.J.; MEIER, E.A.; COLLINS, K.; ROBERTSON, F.A. Changes in soil carbon sequestration, fractionation and soil fertility in response to sugar cane residue retention are site-specific. *Soil & Tillage Research*, v.120, p.99-111, 2012.

THORBURN, P.J.; MEIER, E.A.; PROBERT, M.E. Modelling nitrogen dynamics in sugarcane systems: Recent advances and applications. *Field Crop Research*, v.92, p.337-351, 2005.

THORBURN, P.J.; PROBERT, M.E.; LISSON, S.; WOOD, A.W.; KEATING, B.A. Impact of trash retention on soil nitrogen and water: an example from the Australian sugarcane industry. *Proc. S. Afr. Sugar Cane Technol. Association*, v.73, p.75–79, 1999.

THORBURN, P.J.; PROBERT, M.E.; ROBERTSON, F.A. Modelling decomposition of sugar cane surface residues with APSIM Residue. *Field Crops Research*, v.70, p.223–232, 2001a.

THORBURN, P.J.; VAN ANTWERPEN, R.; MEYER, J.H.; BEZUIDENHOUT, C.N. The impact of trash management on soil carbon and nitrogen: I Modelling long-term experimental results in the South African sugar industry. Proc. S. Afr. Sug. Technol. Association, 76: 260–268, 2002b.

THORBURN, P.J.; VAN ANTWERPEN, R.; MEYER, J.H.; KEATING, B.A.; ROBERTSON, R.A. Impact of trash blanketing on soil nitrogen fertility: Australian and South African experience. Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technology, v.24, p.33–39, 2001b.

TRIVELIN, P.C.O. Três casos estudados com o uso do traçador <sup>15</sup>N. 2000. (Tese Livre-Docência) Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 143p.

TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, M.W.; VITTI, A.C.; GAVA, G.J.C.; BENDASSOLI, J.A. Perdas do nitrogênio da uréia no sistema solo-planta em dois ciclos de cana-de-açúcar. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.37, p.193-201, 2002a.

TRIVELIN, P.C.O.; BENDASSOLI, J.A.; OLIVEIRA, M.W.; MURAOKA, T. Potencialidade da mistura de aquamônia com vinhaça na fertilização de canaviais colhidos sem despalha a fogo. Parte I: Estabilidade química da mistura. STAB - Açúcar, Álcool Subprodutos, v.16, p.26-29, 1997.

TRIVELIN, P.C.O.; VICTORIA, R.L.; RODRIGUES, J.C. Utilização por soqueira de cana-de-açúcar de início de safra do nitrogênio da aquamônia-<sup>15</sup>N e uréia-<sup>15</sup>N aplicado ao solo em complemento à vinhaça. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.31, p.89-99, 1996.

TRIVELIN, P.C.O.; VICTORIA, R.L.; RODRIGUES, J.C. Aproveitamento por soqueira de cana-de-açúcar de final de safra do nitrogênio da aquamônia-<sup>15</sup>N e aplicado ao solo em complemento à vinhaça. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.30, n.12, p.1375-1385, 1995.

TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C.; OLIVEIRA, M.W.; GAVA, G.J.C. & SARRIÉS, G.A. Utilização de nitrogênio e produtividade da cana-de-açúcar (cana-planta) em solo arenoso com incorporação de resíduo da cultura. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.26, p.637-646, 2002b.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DA CANA-DE-AÇÚCAR, 2010. Cultivo da cana hoje. Acesso em: 13 jul 2011. <http://unica.com.br/download.asp?mmdCode=9126741B-A822-4B55-98512C7019059C5A>.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA DE AÇÚCAR, 2009. Safra 2008/2009 de cana da região Centro-Sul chega perto de meio bilhão de toneladas. Disponível em: <http://www.unica.com.br/noticias/show.asp?nwsCode=%7BC484D1B2-0D1A-40D-AB77BF3189916CA4%7D>. Acesso em: 03 fev.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR, 2012. Cresce a mecanização na colheita de cana-de-açúcar em São Paulo. Disponível em: <http://www.unica.com.br/noticias>. Acesso em: 15 mar. 2012.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR, 2012. Safra de cana-de-açúcar no centro-sul será maior que o estimado, mas receita permanece aquém do valor observado em

2011/2012. Disponível em: <http://www.unica.com.br/noticia/18631428920317494047/safra-de-cana-de-acucar-no-centro-sul-sera-maior-que-o-estimado-por-cento2C-mas-receita-permanece-aquem-do-valor-observado-em-2011-por-cento2F2012/>. Acesso em: 23 dez. 2012.

URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M.; OLIVEIRA, O.C.; LIMA, E.; GUIMARÃES, D.H.V. Importância de não queimar a palha da cana-de-açúcar. Comunicado Técnico. EMBRAPA, n.5. 1991, 12p.

URQUIAGA, S.; CRUZ, K.H.S.; BODDEY, R.M. Contribution of nitrogen fixation to sugar cane: Nitrogen<sup>15</sup> and nitrogen balance estimates. Soil Science Soc. Am. Journal, v.56, p.105-114, 1992.

URQUIAGA, S.; RESENDE, A. S.; QUESADA, D. M.; SALES, L.; GONDIN, A.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Efeito das aplicações de vinhaça, adubo nitrogenado e da queima no rendimento de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, Rio de Janeiro, 1997.

VALLIS, I.; PARTON, W.J.; KEATING, B.A.; WOOD, A.W. Simulation of the effects of trash and N fertilizer management on soil organic matter levels and yields of sugarcane. Soil and Tillage Research, v.38, p.115-132, 1996. Veja os pontos e ponto e virgula dessa e outras.

VALSECHI, O. A queima da cana-de-açúcar e suas conseqüências. Tese (Livre Docência). Escola superior de Agricultura “Luis de Queiroz”, Piracicaba. 129p. 1951.

VAN ANTWERPEN, R.; THORBURN, P.J.; MEYER, J.H.; BEZUIDENHOUT, C. The impact of trashing on soil carbon and nitrogen: II Implications for sugarcane production in South Africa. Proc S Afr Sug Technology Ass. 2002, 76 (in press).

VASCONCELOS, R.F.B.; CANTALICE, J.R.B.; OLIVEIRA, V.S.O.; COSTA, Y.D.J.; CAVALCANTE, D.M. Estabilidade de agregados de um Latossolo Amarelo Distrocoeso de tabuleiro costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar. Rev. Bras. Ciência do Solo, v.34, p.309-316, 2010.

VASCONCELOS, A.C.M. Desenvolvimento do sistema radicular da parte aérea de socas de cana-de-açúcar sob dois sistemas de colheita: crua mecanizada e queimada manual. 2002. 140f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. 2002.

VENDRAMINI, J.M.B.; SILVEIRA, M.L.A.; DUBEUX JR.; J.C.B. & SOLLENBERGER. Environmental impacts and nutrient recycling on pastures grazed by cattle. Revista Brasileira de Zootecnia, v.36, suplemento especial, p. 139-149, 2007.

VEZZANI, F.M.; MIELNICZUK, J. Uma revisão sobre qualidade do solo. Rev. Bras. Ciência do Solo, v.33, p.743-755, 2009.

VIEIRA, M.X. Eficiência agrônômica da adubação de soqueira de cana de açúcar com cloreto de amônio. 2009. 135p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP. 2009.

VIEIRA, M.X.; TRIVELIN, P.C.O.; FRANCO, H.C.J.; OTTO, R.; FARONI, C.E. Ammonium chloride as nitrogen source in sugarcane harvested without burning. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.34, p.1165-1174, 2010.

VILLEGAS, R.; CHANG, R.M.; GONZÁLES, M. Sostenibilidad del agroecosistema y evolución de características biogeoquímicas en estudios de larga duración con caña de azúcar. Cuba Caña, v.2, p.11-17, 1998.

VITTI, A.C. Adubação nitrogenada da cana-de-açúcar (soqueira) colhida mecanicamente sem a queima prévia: Manejo e efeito na produtividade. Piracicaba, Universidade de São Paulo, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, 2003. 114p. (Tese de Doutorado)

VITTI, G.C.; MAZZA, J.A. Planejamento, estratégias de manejo e nutrição da cultura de cana-de-açúcar. Piracicaba: POTAFOS, 16p., 2002. (Encarte Técnico/Informações Agronômicas, 97)

VITTI, A. C.; TRIVELIN, P.C.O.; GAVA, G.J.C.; FRANCO, H.C.J.; BOLOGNA, I.R.; FARONI, C.E. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada à localização de adubos nitrogenados aplicados sobre os resíduos culturais em canavial sem queima. Revista Brasileira de Ciências do Solo, Viçosa, v.3, n.3, p.491-498, 2007.

VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O.; CANTARELLA, H.; FRANCO, H.C.J.; FARONI, C.E.; OTTO, R.; TRIVELIN, M.O.; TOVAJAR, J.G. Mineralização da palhada e crescimento de raízes de cana-de-açúcar relacionados com a adubação nitrogenada de plantio. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.32, p.2757-2762, 2008.

WIEDENFELD, B. Effects of green harvesting vs burning on soil properties, growth and yield of sugarcane in South Texas. Journal of the American Society of Sugarcane Technologists, v.29, p.102-109, 2009.

WOLTERS, V. Invertebrate control of soil organic matter stability. Biology and Fertility of soils, v.31, p.1-19, 2000.

WOOD, A.W. Management of crop residues following green harvesting of sugarcane in North Queensland. Soil & Tillage Research, v.20, p.69-85, 1991.