



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UnB
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA – FAV

**AVALIAÇÃO DA DINÂMICA DE DECOMPOSIÇÃO DA
PALHADA DE CANA-DE-AÇÚCAR EM SOLO DE CERRADO**

Mateus Costa Coelho

MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

BRASÍLIA – DF
2º SEMESTRE/2012

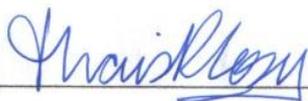
Universidade de Brasília
Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária - FAV

Avaliação da dinâmica de decomposição de palhada de cana-de-açúcar em solo de cerrado.

Mateus Costa Coelho
Matrícula: 07/36309

Projeto final de Estágio Supervisionado, submetido à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, como requisito parcial para a obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo.

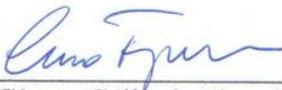
APROVADO PELA BANCA EXAMINADORA:



Profª. Thais Rodrigues Coser
Enga. Agra., Mestre em Agronomia, professora da UnB
Orientadora



Arminda Moreira de Carvalho
Eng. Agr., Doutora em Ecologia, pesquisadora da Embrapa Cerrados
Co-orientadora



Prof. Cícero Célio de Figueiredo
Eng, Agr., Doutor em Agronomia, professor da UnB
Examinador

Brasília-DF, 04 de Setembro de 2012.

Coelho, Mateus Costa

Avaliação da dinâmica de decomposição de cana-de-açúcar
em solo de cerrado / Mateus Costa Coelho - Brasília, 2012.

41 p.

Monografia - Universidade de Brasília / Faculdade de
Agronomia e Medicina Veterinária, 2012.

CESSÃO DE DIREITOS

Nome do Autor: Mateus Costa Coelho

Título da Monografia de Conclusão de Curso: Avaliação da dinâmica de decomposição de cana-de-açúcar em solo de cerrado.

Ano: 2012

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta monografia e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva-se a outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Mateus Costa Coelho - Matrícula: 07/36309

SQN 111, Bloco G, Apt. 202

CEP 70.754-070, Brasília-DF

Tel: (61) 3447-6298

E-mail: mateuscoelho@agronomo.eng.br

Agradecimentos

Às minhas orientadoras Arminda Moreira de Carvalho e Thais Rodrigues Coser, por todo o apoio durante a condução do meu experimento e durante a elaboração deste manuscrito.

A toda a equipe de pesquisadores e analistas da Embrapa Cerrados que me apoiou na condução das análises de laboratório e na tomada de decisões importantes referentes ao meu experimento.

Aos funcionários de apoio de campo da Embrapa Cerrados e da Usina Goiasa pela ajuda na condução do experimento.

Ao professor Cícero Célio de Figueiredo, pela pronta disponibilidade para participar da minha banca examinadora.

À Petrobras pelo apoio financeiro na implantação do projeto no qual o experimento está inserido.

À minha família, por todo o apoio sempre que necessário, sem o qual não teria as oportunidades que tive para chegar até aqui.

À minha namorada Nathalia por todo o apoio e companheirismo durante o meu curso.

Aos amigos que fiz na Agronomia e que me acompanharam na faculdade e fora dela também.

A todos aqueles com os quais trabalhei, que me supervisionaram, e que me abriram muitas portas na vida profissional e acadêmica.

AVALIAÇÃO DA DINÂMICA DE DECOMPOSIÇÃO DA PALHADA DE CANA-DE-AÇÚCAR EM SOLO DE CERRADO

RESUMO – Foi avaliada a decomposição de resíduos culturais de cana-de-açúcar e as relações entre essa decomposição e a composição bromatológica e o teor de nitrogênio desses resíduos. Foi realizada amostragem da palhada após a primeira colheita em canavial da Usina Goiás, em Goiatuba - GO. As amostras foram armazenadas em *litter bags* e colocadas no campo, sendo retiradas periodicamente para a quantificação da matéria decomposta e análise bromatológica e de nitrogênio (N) total dos resíduos remanescentes, sendo a última retirada aos 563 dias. Houve forte correlação entre decaimento de celulose, relação C/N, e quantidade de resíduos remanescentes. Hemicelulose e lignina apresentaram pouca decomposição ao longo do tempo, com concentrações praticamente constantes nos resíduos remanescentes. Foi observada queda significativa nos teores de N nos resíduos, indicando uma possível mineralização do nitrogênio, a partir de 330 dias, mesmo período em que se iniciou a decomposição da lignina. Foi observada forte correlação entre a decomposição da lignina e a diminuição nos teores de N nos resíduos.

Palavras-chave: 1. *Saccharum officinarum*; 2. plantio direto; 3. colheita sem queima; 4. lignina; 5. nitrogênio

EVALUATION OF THE DECOMPOSITION DYNAMICS OF SUGARCANE CROP
RESIDUES IN A CERRADO (SAVANNAH) SOIL

ABSTRACT – The decomposition of sugarcane crop residues and its relations to the chemical composition of the residues and the nitrogen content of these residues was evaluated. The sampling of the straw after the first harvest was made from the canebrake at Goiasa Plant, in Goiatuba - GO, Brazil. The samples were stored in *litter bags* and placed on the field, being recollected periodically for the quantification of decomposed matter and chemical analysis of the remaining residues, with the last recollection after 563 days. There was strong correlation among cellulose, C/N ratio, and quantity of remaining residues. Hemicellulose and lignin presented low decomposition over time, with nearly constant concentrations in the remaining residues. Significant decrease in the nitrogen content in the residues, indicating a possible mineralization of this nutrient, was observed after 330 days, same period when the lignin decomposition took place. Strong correlation between lignin decomposition and nitrogen content decrease in the residues was observed.

Key words: 1. *Saccharum officinarum*; 2. no-tillage system; 3. green harvest; 4. lignin; 5. nitrogen

SUMÁRIO

Resumo	5
Abstract.....	6
1.Introdução	8
2.Objetivos.....	9
3.Revisão bibliográfica.....	10
3.1.Cerrado	10
3.2.Plantio direto	11
3.3.Matéria orgânica e cobertura do solo	12
3.4.Composição química e decomposição de resíduos vegetais	13
3.5.Panorama da cultura da cana-de-açúcar	15
3.6.O papel da cana-de-açúcar na produção mundial de bioenergia	16
3.7.A sustentabilidade na produção, colheita mecanizada e processamento de cana-de-açúcar.....	17
3.8.Agricultura orgânica.....	19
4.Material e métodos	20
4.1.Caracterização da área experimental	20
4.2.Análises da decomposição e composição química da cana-de-açúcar	21
5.Resultados e discussão	25
5.1.Decomposição de resíduos	25
5.2. Decomposição de hemicelulose.....	25
5.3. Decomposição de celulose.....	27
5.4. Decomposição de lignina.....	27
5.5. Relação C/N, relação Lignina/N e decomposição de nitrogênio e resíduos.....	28
6.Conclusões.....	33
7.Referências bibliográficas	34
8.Anexos	40

1. INTRODUÇÃO

O atual panorama energético mundial demanda cada vez mais fontes renováveis e baratas de combustíveis. Nesse cenário a cultura que mais tem se destacado tanto pelo seu custo de produção quanto pelos seus rendimentos é a cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.).

Essa demanda por energias renováveis é produto de uma crescente busca por sustentabilidade em todos os campos produtivos. Dessa forma, se tem cobrado cada vez mais sustentabilidade na produção sucroalcooleira brasileira, fazendo com que os produtores migrem da antiquada colheita manual com queima para a moderna colheita mecanizada da cana-de-açúcar crua. A colheita mecanizada apresenta maiores índices de sustentabilidade, dado que elimina a queima do canavial e a palhada residual da colheita fica sobre o solo, formando uma espessa camada de palha protegendo o solo das intempéries e melhorando suas condições químicas, físicas, e biológicas (CANTARELLA, 2010).

O plantio com pouco revolvimento aliado à biomassa sobre o solo garante maiores rendimentos da lavoura e menores perdas nutricionais e de sedimento, junto à maior ciclagem de nutrientes e maior aporte de matéria orgânica para o solo.

O entendimento das dinâmicas que compõem os processos de decomposição dos resíduos da colheita são de grande importância para o processo de tomada de decisão do produtor sobre qual manejo aplicar à sua lavoura. O conhecimento de tais dinâmicas permite maior eficiência e economia na aplicação de fertilizantes, corretivos, e demais insumos.

2. OBJETIVOS

O presente trabalho teve o objetivo de identificar e avaliar a dinâmica de decomposição da palhada de cana-de-açúcar residual da colheita mecanizada e as relações entre a decomposição, sua composição bromatológica, e a mineralização do nitrogênio presente na palhada, em agroecossistema de Cerrado.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Cerrado

O Cerrado apresenta aproximadamente 204 milhões de hectares, sendo o segundo maior bioma brasileiro, depois da Amazônia. O bioma se estende pelas unidades federativas do Pará, Maranhão, Ceará, Bahia, Tocantins, Rondônia, Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, e Distrito Federal, cobrindo grande parte do território nacional (EITEN, 1993; EMBRAPA, 2007).

Áreas de Cerrado apresentam enorme potencial agrícola, desde que feitos os investimentos necessários em melhorias do solo. Com pesquisa constante em melhores manejos para os solos e variedades com melhor adaptação é possível conseguir consideráveis saltos de produtividade no Cerrado, aumentando a produção agrícola sem ameaçar áreas de preservação (GOEDERT, 1985; EITEN, 1993).

Os solos predominantes no Cerrado são Latossolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos (REATTO et al., 1998). São solos profundos porosos, permeáveis, e bem drenados, o que favorece a mecanização e a agricultura em larga escala, porém favorece também a lixiviação, tornando-os pobres em nutrientes e ricos em ferro e alumínio. Estes solos apresentam baixo teor de matéria orgânica, cerca de 3-5% (CORREIA et al., 2004).

Os Latossolos podem apresentar pH variando de menos que 4 a pouco mais que 5, e ainda podem apresentar altas concentrações de alumínio, o que os torna tóxicos a diversas culturas (COUTINHO, 2000). Dessa forma, demandam boas doses de adubação corretiva para se obter rendimentos adequados com as principais culturas comerciais (SPERA et al., 2006).

O Cerrado apresenta clima estacional de savana, com inverno seco e verão chuvoso (KÖPPEN & GEIGER, 1928). Apresenta ainda precipitação média anual em torno de 1.500mm e temperaturas amenas, com médias variando de 22°C a 27°C (KLINK & MACHADO, 2005). Junto a esses fatores, os solos de Cerrado apresentam baixa retenção hídrica, o que torna a disponibilidade de água um dos principais fatores limitantes para a produção agrícola no Cerrado.

Essa limitação pode ser contornada ou diminuída com o uso de técnicas conservacionistas, que preservem o solo, como o plantio direto. O acúmulo de palhada proveniente do uso de plantio direto protege o solo da lixiviação na época chuvosa, bem

como da perda excessiva de umidade no período seco. Dessa forma, tal técnica torna-se uma aliada de grande importância para a agricultura em regiões de Cerrado.

3.2. Plantio direto

O sistema plantio direto é uma técnica conservacionista de produção agrícola. O sistema evoluiu de um simples conjunto de técnicas visando à diminuição da erosão hídrica para um complexo sistema de produção agrícola visando maiores produtividades com menores gastos e perdas de recursos (nutricionais, de sedimentos, e da microfauna do solo). O plantio direto combina práticas biológico-culturais com práticas mecânico-químicas, contando com algumas características básicas de manejo, como o não revolvimento profundo do solo, o uso de rotação de culturas, e de controle integrado de plantas invasoras, pragas, e doenças (ANGHINONI, 2007).

As primeiras discussões acerca do sistema plantio direto se deram na década de 30, quando nos Estados Unidos ocorreram questionamentos sobre a real necessidade do preparo do solo com revolvimento. Na ocasião, segundo Baker et al. (1996), Edward H. Faulkner, engenheiro agrônomo, afirmou que *“ninguém até hoje ofereceu razão científica para arar o solo”*. À época, um dos principais motivos para a aração do solo era a eliminação de plantas daninhas. A forma como o plantio direto é utilizado atualmente começou a tomar corpo quando começaram a aparecer as primeiras evidências de que seria possível evitar a competição de plantas invasoras sem necessidade de arar o solo, argumento que se fortaleceu com o desenvolvimento de herbicidas mais avançados (ANGHINONI, 2007).

No Brasil, as primeiras tentativas de implantação do sistema plantio direto ocorreram na região Sul, na década de 70. A partir dos anos 90, com o avanço das pesquisas e do maquinário disponível, houve um salto na adoção do sistema (ANGHINONI, 2007). Dados recentes apontam para uma área de 25 milhões de hectares nos quais o sistema é adotado no Brasil (FEBRAPDP, 2007), tornando o país o segundo maior em área cultivada via sistema plantio direto, atrás apenas dos Estados Unidos, nação pioneira na técnica.

Entre os atributos do sistema estão a maior ciclagem de nutrientes e a formação de palhada (CARVALHO, 2005). O acúmulo de palhada sobre o solo gera maior proteção deste frente às intempéries, diminuindo o impacto das gotas da chuva e consequentemente as perdas de solo e nutrientes (SODRÉ FILHO et al., 2004). A palhada também protege o solo da solarização, garantindo boas condições para a

microfauna e para os microrganismos do solo, e diminuindo também as perdas hídricas deste.

Em cana-de-açúcar o sistema aplicado não é um sistema plantio direto *stricto sensu*, mas sim um sistema de plantio com reduzido revolvimento de solo, dado que é necessária a sulcagem da área para a implantação do canavial. Apesar da sulcagem do solo, o reduzido preparo, contando com a presença de palhada como cobertura e o menor trânsito de maquinário, garantem melhores produtividades e menores perdas e degradação do solo (GARBIATE et al., 2011).

3.3. Matéria orgânica e cobertura do solo

O solo é constituído de diversas fases, sendo que a fase sólida é constituída pelas frações mineral e orgânica. A fração orgânica corresponde à matéria orgânica do solo, que é composta, principalmente, por 58% de carbono orgânico. O carbono orgânico é levado ao solo principalmente pelo aporte de biomassa vegetal (palhada e raízes), constituintes solúveis das plantas, exsudados de raízes, e pela transformação desses pela ação da microfauna e dos microrganismos do solo (Silva & Mendonça, 2007).

A matéria orgânica do solo (MOS) influencia diversas características de um solo. Entre essas características estão o poder tampão do solo (característica que garante menor variação de acidez), a capacidade de troca catiônica (CTC), a complexação de metais, a agregação de partículas, a retenção de água, e os atributos biológicos do solo.

Garbiate (2011) mostra ainda que a matéria orgânica diminui as perdas de solo por erosão laminar.

Dessa forma, a matéria MOS exerce papel fundamental na qualidade (física, química, e biológica) do solo, o que a torna de grande importância para a sustentabilidade de sistemas produtivos a longo prazo (Silva & Mendonça, 2007).

Santos et al. (2010) identificaram interação entre a quantidade de material orgânico aplicado no solo e a produtividade de cana-de-açúcar em Latossolo Vermelho distrófico. Observaram que a aplicação de torta de filtro, rica em matéria orgânica, cálcio e fósforo, entre outros nutrientes, proporcionou maior produtividade da cultura, sem afetar a qualidade da produção.

Maiores aportes de material orgânico no solo influenciam positivamente as produtividades das culturas (BEHLING et al., 2009). Observam-se melhorias nas condições físicas, químicas, e biológicas do solo, melhorando o aproveitamento e

evitando a perda dos nutrientes e água presentes no solo, mantendo assim um ambiente estável para o desenvolvimento das culturas (CHAER & TOTOLA, 2007).

Além de melhorar os atributos do solo aqui citados a MOS também pode conter nutrientes. Os nutrientes (principalmente N, P, e K) podem integrar a MOS como parte estrutural dessa, podem ainda se apresentar como cátions trocáveis na superfície dos complexos organominerais (como Ca, Mg, e K), ou também na forma de cátions complexados ou quelatados por compostos orgânicos (como os micronutrientes Mn, Cu, Fe, Zn). Sendo assim, a MOS pode estocar ou liberar (mineralizar) nitrogênio (N) em conjunto com os processos realizados pelos microrganismos do solo, aumentando a ciclagem de nutrientes de um solo (Zech et al., 1997).

Maior mineralização da matéria orgânica geram maior ciclagem de nutrientes e menor persistência de cobertura de resíduos sobre o solo. Menor mineralização favorece a manutenção de palhada sobre o solo. Maiores aportes de resíduos vegetais, manejo sem revolvimento do solo e sem incorporação dos resíduos, presentes em sistemas de plantio direto, diminuem a mineralização da matéria orgânica do solo, favorecendo a sua proteção frente à ciclagem de nutrientes. Manejos com incorporação ou remoção parcial de resíduos favorecem a ciclagem de nutrientes e mineralização da MOS.

3.4. Composição química e decomposição de resíduos vegetais

O processo de decomposição de resíduos vegetais é um processo constante nas superfícies de solos onde há cobertura vegetal. O processo pode ser compartimentado em duas fases: a primeira é a decomposição de compostos hidrossolúveis, a qual dura meses, seguida pela degradação dos componentes estruturais dos resíduos, que, dependendo de sua natureza química, pode chegar a anos (CORREIA & ANDRADE, 1999).

Dessa forma, a decomposição química de resíduos vegetais (palhada) é influenciada pelos seus componentes estruturais, como a celulose, hemicelulose, e lignina. Carvalho (2005) identificou relações diretas entre o teor de lignina em resíduos de plantas de cobertura e sua decomposição, de forma que quanto maiores os níveis de lignina no material vegetal menores eram suas taxas de decomposição, favorecendo a manutenção de palhada sobre o solo. A composição de resíduos é variável entre os diversos tipos de materiais vegetais, variando entre espécies de plantas, entre variedades e cultivares, entre diferentes estágios vegetativos de uma espécie, e entre as partes de uma mesma planta, como nos colmos e nas folhas (COSTA, 1991).

Resíduos vegetais provindos de gramíneas são mais estáveis, pois apresentam alta relação C/N (maior que 25), contribuindo para melhor estruturação do solo, e para proteção do mesmo frente à erosão e à solarização. Resíduos com baixa relação C/N (menor que 20) apresentam maiores taxas de decomposição, e conseqüentemente, a mineralização é mais acelerada, favorecendo maior ciclagem de nutrientes, mesmo sem a sua incorporação (COSTA, 1991).

Assim, fatores relacionados à decomposição de resíduos (relação C/N, teores de lignina, de hemicelulose e de celulose) apresentam considerável relevância para o manejo de plantas de cobertura mantidas na superfície ou incorporadas ao solo (CARVALHO et al., 1999).

O nitrogênio é um dos nutrientes mais importantes para a agricultura, e também é um dos nutrientes (devido à relação C:N) que mais afetam a decomposição de resíduos vegetais. Em culturas como a cana-de-açúcar, com alta relação C:N (aproximadamente 100:1), é esperada a mobilização de nitrogênio pelos microrganismos do solo que agem na decomposição de resíduos, de forma que é esperado um decaimento na quantidade absoluta de nitrogênio total nos resíduos (JOHNSON et al., 2007; GRAHAM et al., 2002).

A lignina é uma macromolécula tridimensional amorfa encontrada nas plantas terrestres, associada à celulose na parede celular cuja função é de conferir rigidez, impermeabilidade e resistência a ataques microbiológicos e mecânicos aos tecidos vegetais. Ela é geralmente mais resistente à decomposição biológica que os outros biopolímeros principais encontrados em resíduos de planta, por causa de sua estrutura química. A taxa de decomposição da lignina é lenta comparada com a celulose e hemicelulose, e seu teor nas plantas pode variar de menos que 5 % por massa em plantas jovens, enquanto em plantas maduras pode conter 15 % (WAGNER & WOLF, 1999).

Nos resíduos das plantas, a maior quantidade de carbono está na forma de carboidratos, tal como os polissacarídeos estruturais. O teor de celulose em plantas geralmente aumenta com o amadurecimento, podendo ser menor que 15 % do peso seco para plantas jovens. Na degradação da celulose, as reações envolvidas tornam o carbono disponível para o crescimento de microrganismos (DENG & TABATAI, 1994).

A hemicelulose é o segundo carboidrato mais comum que constitui os resíduos das plantas e consiste de polímeros contendo hexoses, pentoses e ácidos urônicos. Eles constituem um grupo diverso de polissacarídeos estruturais que compreendem mais de

30 % da massa seca dos resíduos das plantas. Sua decomposição é geralmente rápida e excede a taxa de decomposição da celulose (WAGNER & WOLF, 1999).

O conhecimento desses fatores é de grande importância para o entendimento dos processos de decomposição e suas dinâmicas, permitindo uma melhor indicação de manejos e tomadas de decisões sobre os resíduos das culturas (COELHO et al., 2010).

3.5. Panorama da cultura da cana-de-açúcar

A cultura da cana-de-açúcar é cultivada em mais de cem países ao redor do globo. Devido aos requisitos climáticos da planta, seu cultivo é mantido entre os paralelos 35° Norte e 35° Sul, com desenvolvimento otimizado entre temperaturas de 30°C e 34°C e em áreas com água disponível e estação seca suave. Há exceções, como locais de altitudes diferenciadas (baixas altitudes em áreas fora dos paralelos, ou áreas dentro dos paralelos, mas em altas altitudes, ambas as condições devidas às temperaturas, altas e baixas, respectivamente) (CANTARELLA, 2010).

A cana-de-açúcar é uma gramínea tropical semi-perene, formada por uma longa haste na qual a sacarose é acumulada (colmos), que cresce a partir de rizomas. É uma planta do tipo C4, o que garante alta eficiência de fotossíntese e de crescimento em altas temperaturas. O crescimento da cultura dura quase o ano todo, sendo uma das plantas mais eficientes em produção de biomassa. A produtividade de colmos no primeiro ano (maior do que nos anos seguintes) varia de 150 a 200 t ha⁻¹, e nos anos seguintes gira em torno de 70 t ha⁻¹ (CANTARELLA, 2010). A produtividade média brasileira na safra de 2011 foi aproximadamente 79 t ha⁻¹ (AGRIANUAL, 2012).

No Brasil a cultura é de grande importância econômica, sendo que o país é o atual maior produtor mundial de açúcar e etanol, bem como da cultura em si. O país também é líder em tecnologia de produção e em pesquisa e desenvolvimento na área sucroalcooleira (PICOLI, 2009). Apesar desses dados, as áreas ocupadas por canaviais no território nacional não ameaçam a produção de alimentos, nem a preservação de florestas tropicais ou áreas protegidas no Brasil, dado que, segundo o Zoneamento Agroecológico da Cana-de-Açúcar (2009), o país apresenta, além dos atuais 9 milhões de hectares ocupados por canaviais, mais 65 milhões de hectares propícios ao plantio de cana-de-açúcar, dos quais aproximadamente 19 milhões são de alta aptidão.

Tais dados mostram que o Brasil está a frente dos demais produtores, tanto em área para possível expansão, como em convivência da cana-de-açúcar com as culturas voltadas para a produção de alimentos. Ao contrário do que ocorre em outros países, no

Brasil a cana-de-açúcar não compete com a produção de alimentos (exceto o açúcar) e não ameaça áreas nativas protegidas, colocando o país em uma posição exemplar diante de seus competidores e derrubando o principal argumento daqueles que se opõe ao avanço da cultura.

Com áreas disponíveis e produtividade crescente, além do mercado de combustíveis favorecendo as fontes não fósseis, o Brasil se encontra em uma posição favorável à expansão de sua liderança na produção de cana-de-açúcar e de etanol.

3.6. O papel da cana-de-açúcar na produção mundial de bioenergia

O atual cenário energético mundial tem gerado uma demanda crescente por fontes renováveis de energia ao mesmo tempo em que mostra a falta de sustentabilidade por trás das fontes fósseis. Das diversas fontes de bioenergias disponíveis atualmente a cana-de-açúcar se destaca pelo seu superior custo-benefício (ALVES FILHO, 2012).

O combustível principal gerado a partir da cana-de-açúcar é o etanol, gerado na fermentação do caldo da planta. Devido ao balanço energético positivo de sua rede de produção, o etanol é destaque entre as diversas fontes bioenergéticas (AMARAL & ANEX, 2010). Além disso, incentivos governamentais provindos do governo brasileiro a partir do ano de 1973 (Programa Pró Álcool) geraram um crescimento de 3000% na produção nacional bem como redução de custo de produção de 75%, aumento de produtividade de 60%, e um aumento anual de 6% na produção. Soma-se a isso o fato do etanol brasileiro, provindo quase que totalmente de cana-de-açúcar, custar de US\$30 a US\$35, valor menor que a metade do custo por barril do etanol provindo de outras fontes produzido nos Estados Unidos, onde o custo é de aproximadamente US\$80, e quase 40% menor que o etanol produzido na Europa (ALVES FILHO, 2012).

Da produção do etanol resulta o bagaço de cana, resíduo ao qual podem ser dados diversos usos. Entre eles a sua queima para a produção de energia. Enquanto as usinas presentes nos países concorrentes do Brasil na produção de biocombustíveis têm a maioria de suas usinas abastecidas por fontes energéticas externas, várias das usinas brasileiras produzem sua própria energia para funcionamento a partir da queima do bagaço da cana-de-açúcar.

Pesquisas atuais têm mostrado outras potencialidades para o bagaço da cana, do qual se podem gerar mais biocombustível. Os biocombustíveis de biomassa, ou biocombustíveis de segunda geração, vêm sendo estudados e os processos de produção sendo aprimorados, tornando esse tipo de operação cada vez mais próxima (Brown et

al., 2010). O avanço dessas técnicas garantirá maiores produtividades ao álcool provindo cana-de-açúcar.

Diante de tais fatos o etanol brasileiro se mostra o mais rentável dos biocombustíveis, e com maior potencial de exploração. Além disso, a cana-de-açúcar é uma cultura que não compete em espaço com as culturas alimentícias, que tem amplas possibilidades de expansão e que produz balanço energético positivo.

3.7. A sustentabilidade na produção, colheita mecanizada e processamento de cana-de-açúcar

Ao avaliar quão sustentável é a produção e o processamento de cana-de-açúcar diversos fatores precisam ser estudados. Amaral & Anex (2010) listam como os principais indicadores ambientais da cadeia produtiva de cana-de-açúcar e etanol as emissões de gases de efeito estufa, o consumo de água, o consumo de fertilizantes e uso do solo, o manejo de doenças e pragas, a conservação da biodiversidade, e a qualidade do ar. Os pesquisadores indicam a necessidade de uma agenda de estudos de longo prazo e integrados para avaliar de forma efetiva a sustentabilidade da produção nacional.

Dados do ZAE-Cana (2009) mostram que a produção sucroalcooleira nacional tem campo para expansão sem comprometer a conservação ou a biodiversidade de nossas florestas tropicais. O avanço do melhoramento com geração de novas variedades garante maiores produtividades com menor consumo de fertilizantes, e mais resistência a doenças e pragas, gerando menor necessidade de aplicação de defensivos agrícolas. Há ainda o fato de que quase toda a produção comercial nacional é feita sem irrigação, o que diminui o risco de esgotamento e contaminação dos mananciais de água, e que nas usinas de álcool e açúcar há uma reciclagem de 96,67% da água utilizada, com novos projetos visando à mudança das usinas de consumidoras de água para exportadoras de água (AMARAL & ANEX, 2010).

Uma grande dificuldade da produção sucroalcooleira brasileira, durante muitas décadas, foi a colheita. A dificuldade de mecanização tornava a colheita manual, com a queima prévia do canavial, a melhor alternativa para os produtores. Tal método de colheita gera diversos problemas ambientais, agrícolas, e trabalhistas. Esse é o principal fator de insustentabilidade das lavouras de cana-de-açúcar no Brasil, e vem sendo mitigado pela introdução da colheita mecanizada da lavoura.

A colheita com queima gera poluição do ar, acarretando doenças aos trabalhadores e à população das cercanias das propriedades. A queima também é responsável por erosão, perdas nutricionais, e perdas físicas de solo.

Ribeiro & Pesqueiro (2010) encontraram evidências de maiores incidências de sintomas de doenças respiratórias em crianças entre 11 e 13 anos, no município de Santo Antônio do Turvo - SP, relacionadas às queimas realizadas nos canaviais da região e das queimas de resíduos realizadas nas usinas. Ribeiro (2008) também atribuiu às queimadas maiores incidências de mortes não explicadas entre os trabalhadores que fazem o corte da cana-de-açúcar queimada.

A cultura da cana-de-açúcar pode gerar maiores ou menores perdas nutricionais e perdas de solo, afetando a sustentabilidade da cultura de acordo com o manejo aplicado (IZIDORIO, 2005).

O uso de colheita mecânica garante menores perdas e mais sustentabilidade à lavoura. Em estudo realizado em Naviraí-MS, em área de Latossolo, foram avaliadas as perdas de solo, nutrientes, e matéria orgânica em área cultivada com cana-de-açúcar e sob colheita mecânica com e sem queima. A queima da cana teve influência negativa na qualidade física do solo, gerando maiores perdas e maiores danos com o trânsito de máquinas. A palhada resultante da colheita da cana-de-açúcar crua não diminuiu o volume das enxurradas nos sulcos, mas garantiu perdas de 7,6 vezes menores de sedimentos (solo) e 9,6 vezes menores de matéria orgânica. Além disso, a palhada também diminuiu os danos advindos do trânsito de maquinário (GARBIATE et al., 2011).

Em experimento realizado em Catanduva-SP, comparando dois tratamentos em solos, áreas, climas, e demais condições similares, o sistema de colheita mecanizada de cana-de-açúcar crua se mostrou superior ao sistema com queima em relação à perda de solo. A área em que a cana foi colhida com queima apresentou maiores perdas de nutrientes e de solo por erosão. As perdas de solo na área com a cana-de-açúcar queimada (colheita manual) foram 48,82% maiores para solo, 56,45% maiores para potássio (K), e 60,78% maiores para fósforo (P) do que na cana-de-açúcar crua (colheita mecanizada). Além disso, o custo de reposição de nutrientes para a área com cana-de-açúcar queimada foi aproximadamente 60% maior que o mesmo custo para a área de cana-de-açúcar crua. O custo de produção também foi maior para a cana-de-açúcar queimada (10,5%), e o retorno médio foi 54,6% menor que na cana-de-açúcar crua (ANDRADE et al., 2011).

Apesar dos diversos aspectos positivos do sistema de colheita sem queima com acúmulo de palhada sobre o solo, algumas problemáticas relacionadas ao manejo da cultura podem surgir devido ao acúmulo excessivo de biomassa (FURLANI NETO et al., 1997). Macedo et al. (2003) observou dificuldades no controle seletivo de plantas daninhas e maior incidência de pragas que se abrigam sob a palha em canavial com sistema de colheita sem queima. Outros problemas são a dificuldade de rebrota da cana-de-açúcar devido ao excesso de palha e baixas taxas líquidas de nitrogênio mineralizado (VASCONCELOS, 2002; TRIVELIN et al., 1995).

Os estudos aqui apresentados mostram a sustentabilidade da cana-de-açúcar, e principalmente da cana-de-açúcar em sistema de colheita mecanizada. O sistema de colheita mecanizada garante maior sustentabilidade à produção, com menores perdas de solo, nutrientes, e matéria orgânica, e com menores emissões de poluentes, e sem perdas de produtividade.

3.8. Agricultura orgânica

O cultivo orgânico é um sistema de produção que busca baixo comprometimento ambiental conjugado ao menor consumo possível de insumos agrícolas industriais (fertilizantes, defensivos agrícolas, etc.). A agricultura orgânica busca ser o mais sustentável possível, aliando técnicas conservacionistas ao uso de insumos de origem controlada (MAZZOLENI & NOGUEIRA, 2006).

Além do aspecto ambiental, da qualidade dos alimentos produzidos, a agricultura orgânica premia o produtor com um produto geralmente mais valorizado que o convencional (CAMPANHOLA & VALARINI, 2001).. No caso da cana-de-açúcar, há um amplo mercado para a produção de açúcar orgânico visando principalmente a exportação.

Nesse contexto, a implantação do plantio sobre a palhada e da colheita mecanizada de cana-de-açúcar crua para produção de açúcar orgânico garante maior sustentabilidade ao processo produtivo, garantindo maior aceitabilidade da produção frente ao mercado e às instituições certificadoras (MAZZOLENI & OLIVEIRA, 2010).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área experimental

O Experimento foi realizado em área de cultivo de cana-de-açúcar orgânico da usina Goiasa, em Goiatuba-GO, coordenadas aproximadas de 18°04'20" Sul, e 49°40'17" Oeste. O solo da área de estudo é classificado como Latossolo Vermelho, e sua caracterização química está apresentada na Tabela 1. A variedade de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) plantada foi a Ridesa RB 867515 (sucroalcooleira).

A área está inserida no domínio morfoclimático do Cerrado, com clima tropical estacional de savana, com inverno seco e verão chuvoso, de acordo com a classificação proposta por Köppen & Geiger (1928). A precipitação média anual oscila, nessa região, entre 1.400 mm e 1.600 mm e a temperatura média anual varia entre 22°C e 27°C (ADÂMOLI et al, 1987). A precipitação pluviométrica e a temperatura média mensal da área do experimento estão apresentadas na Figura 1.

Amostras	Al - trocável	Ca	H+Al - Acidez Titulável	K	Matéria Orgânica (MO)	Mg	pH em água	pH em CaCl2	pH em KCl	P
	cmol.dm ⁻³	cmol.dm ⁻³	cmol.dm ⁻³	mg/l	g.Kg ⁻¹	cmol.dm ⁻³	pH	pH em CaCl2	pH em KCl	mg/l
0 a 20 cm BL1	0,030	4,087	5,298	209,333	35,053	1,343	6,100	5,493	5,413	5,483
20 a 40 cm BL1	0,040	1,580	5,501	128,000	24,170	0,520	4,880	4,730	4,930	1,800
0 a 20 cm BL2	0,027	3,953	5,752	97,333	30,323	1,333	5,933	5,420	5,350	4,523
20 a 40 cm BL2	0,030	1,050	5,278	42,000	19,210	0,280	5,340	4,820	5,010	0,390
0 a 20 cm BL3	0,020	5,167	4,642	118,667	33,870	1,707	6,427	5,940	5,810	5,500
20 a 40 cm BL3	0,030	1,460	5,339	52,000	15,710	0,430	5,520	4,980	5,070	0,580
0 a 20 cm BL4	0,020	5,297	3,925	104,667	32,233	1,937	6,617	6,100	5,930	4,890
20 a 40 cm BL4	0,020	1,150	4,791	54,000	17,840	0,520	5,430	4,980	5,120	0,580

Tabela 1. Caracterização química do solo no local do experimento, Usina Goiasa, separada por blocos e por profundidades (20-40cm, e 0-20cm), segundo os seguintes métodos: titulometria, para alumínio trocável; absorção atômica, para cálcio; titulometria, para acidez titulável; fotômetro de chama, para potássio; Walkley & Black, para matéria orgânica; absorção atômica, para magnésio; e Mehlich1 - espectrofotometria, para fósforo. Goiatuba, GO, 2011.

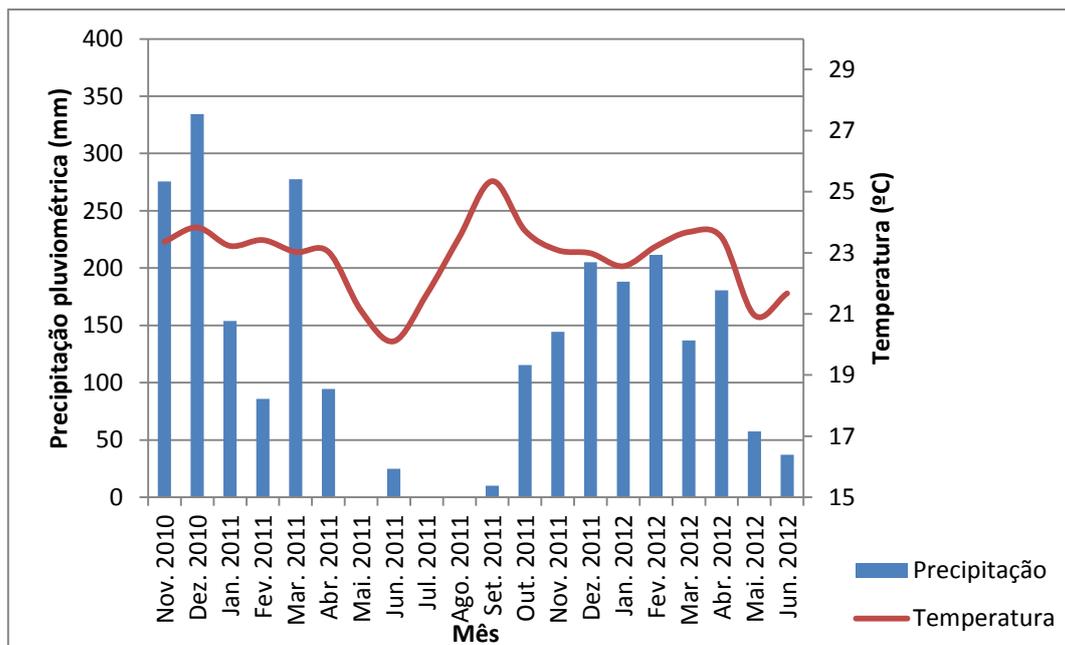


Figura 1. Precipitação total mensal e temperatura média mensal no local do experimento na Usina Goiasa. Goiatuba, GO, 2011/2012.

4.2 Análises da decomposição e composição química da palhada de cana-de-açúcar

O experimento foi instalado em novembro de 2010 e as avaliações de campo foram feitas até novembro de 2011. Foi aplicado o delineamento experimental de blocos ao acaso com medidas repetidas no tempo, com quatro blocos e doze medidas.

A determinação da decomposição foi feita pelo método dos *litter bags* (sacos de tela de nylon, com malha de 2 mm), cada um com 20x20 cm, e contendo 20 g de palhada seca em estufa a 65°C por 72 horas, como descrito em Carvalho (2005). Os *litter bags* foram distribuídos randomicamente nos blocos, cobertos por uma camada de resíduos de cana-de-açúcar. As retiradas de campo foram feitas periodicamente, porém sem seguir intervalos exatos devido a dificuldades logísticas, sendo os períodos de retiradas os seguintes: 30, 73, 124, 146, 180, 215, 256, 330, 361, 438, 458, e 563 dias. Foram retirados três *litter bags* por bloco, e totalizando 563 dias na ocasião da última avaliação.

Após a coleta, o material foi pesado e colocado novamente em estufa a 65°C por 72 horas, com nova pesagem após esse período. Em seguida, parte do material foi separada para as análises bromatológicas e de N-total, e a outra parte colocada em cadinhos de porcelana e levado à mufla a 600°C por um período mínimo de 8 horas, visando à determinação do conteúdo inorgânico final da palhada.

Os cálculos do índice de decomposição a cada retirada e da respectiva porcentagem de matéria decomposta foram adaptados de SANTOS & WHITFORD (1981), usando as fórmulas seguintes:

$$d = Zi + s.(If - Ii) + If - Mf ; \%d = \frac{(d.100)}{Zi}$$

Onde: d = estimativa de matéria orgânica decomposta no solo; Zi = estimativa da média do conteúdo orgânico inicial de três amostras (matéria seca - matéria inorgânica); s = fator de correção médio específico do solo (s = fração orgânica / fração inorgânica do solo); If = conteúdo inorgânico final de cada amostra; Ii = estimativa média do conteúdo inorgânico inicial de três amostras; Mf = matéria seca final de cada amostra.

Nas equações são considerados os teores de matéria orgânica e inorgânica da planta no estágio de decomposição zero e de matéria inorgânica do solo (camada de 0-5 cm) para correção dos índices de decomposição e obtenção de tais índices levando em conta apenas a fração orgânica do material vegetal. Os teores de matéria orgânica e inorgânica para as plantas foram obtidos através de estimativa, assumindo o conteúdo inorgânico obtido da primeira retirada (30 dias) por queima a 600°C por oito horas como conteúdo inorgânico da amostra inicial (20g por *litter bag*), e subtraindo esse conteúdo do restante da amostra para obter o conteúdo orgânico. Os mesmos conteúdos para o solo foram obtidos por queima a 700°C por duas horas como sugerido por SANTOS & WHITFORD (1981). Baseando-se nos dados da porcentagem de decomposição, obteve-se quantidade de resíduos de palhada remanescentes no solo pela diferença entre a quantidade total inicial de resíduos (100%) e os índices de decomposição apresentados nos tratamentos.

Os dados obtidos foram ajustados ao modelo exponencial, com a taxa de resíduos remanescentes em função do tempo ($TR = 100.e^{-k.(t)}$), da qual se extraiu a constante (k) para o cálculo de meia vida ($h = \ln 2 / k$) e tempo de reciclagem ($r = 1 / k$) do material vegetal.

Procedeu-se então às análises laboratoriais das amostras provenientes dos *litter bags*.

A determinação de matéria seca foi feita pela secagem em estufa a 105°C, e a determinação dos teores orgânicos e inorgânicos foram feitos pela queima das amostras em mufla a 600°C por oito horas. As diferenças entre as pesagens antes da secagem, depois da secagem, e depois da queima em mufla darão os valores de matéria seca, matéria orgânica, e matéria inorgânica.

As análises de fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) foram feitas pelo sistema ANKON, como descrito por BERCHIELLI (2001), com o aparelho determinador de fibras ANKON 220. Os cálculos foram feitos pelas seguintes fórmulas, baseadas nas fórmulas propostas por SILVA (1990):

$$\%FDN = \frac{P3 - P2}{(P1.MS)} . 100 \quad ; \quad \%FDA = \frac{P4 - P2}{(P1.MS)} . 100$$

Onde: P3 = peso final após a análise de FDN; P2 = tara do recipiente da amostra; P1xMS = peso da amostra seca ao ar corrigido pelo teor de matéria seca da amostra; P4 = é o peso após a análise de FDA.

A análise de lignina foi feita por digestão do resíduo de FDA, com ácido sulfúrico a 72%, o que extrai a celulose e a hemicelulose e gera como resíduo lignina e matéria inorgânica.

A determinação dos teores de hemicelulose e celulose foi dada pelas diferenças entre os resíduos de FDN e FDA, e entre resíduos de FDA e lignina, respectivamente. O teor de lignina é dado pela diferença entre o resíduo da digestão com ácido e as cinzas após queima em mufla a 500°C por quatro horas.

A determinação de nitrogênio total nas amostras foi feita pelo método Kjeldahl. O método, resumidamente, consiste das seguintes etapas, de acordo com FONTANA (2012): Digestão das amostras pelo ácido sulfúrico junto ao catalisador, em blocos digestores; destilação com hidróxido de sódio e tratamento do destilado com ácido bórico e um indicador; titulação, no caso com uso de ácido sulfúrico, até a viragem do indicador.

Após a titulação os dados coletados foram usados nas seguintes equações, adaptadas de GALVANI & GAERTNER (2006):

$$NT(g.kg^{-1}) = \frac{(Va - Vb).M_{H_2SO_4} . 28}{P1} \quad ; \quad NT(\%) = \frac{NT(g.kg^{-1})}{10}$$

Onde: NT = teor de nitrogênio total na amostra, em grama por quilograma; Va = volume da solução de ácido sulfúrico gasto na titulação da amostra, em mililitros; Vb = volume da solução de ácido sulfúrico gasto na titulação do branco, em mililitros; M_{H₂SO₄} = concentração real do ácido sulfúrico utilizado na titulação; 28 = equivalente grama do N-NH₄⁺; P1 = massa da amostra, em gramas.

O valores obtidos de N-total foram transformados em percentagem relativa ao peso e teor do nutriente do início da decomposição.

Os dados foram submetidos à análise de regressão com o uso do software Sigma Plot 10.0 (Systat Software, Inc., San Jose, California, USA). As taxas de decomposição dos resíduos, da celulose e a relação C/N nos resíduos remanescentes ao longo do tempo foram ajustadas ao modelo matemático de decaimento exponencial de primeira ordem, com dois parâmetros: $y = 100\exp^{-bx}$, onde y = % remanescente de resíduos, x = tempo de permanência das amostras no campo em dias, a = valor de y quando x igual a zero, b = constante de decaimento. Para as análises de lignina e hemicelulose foi utilizado o modelo polinomial quadrático, apresentando níveis de significância 0,9500 e 0,9157, respectivamente.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Decomposição de resíduos

As avaliações de decomposição de resíduos com os *litter bags* estão organizadas na Figura 2. Foi observada considerável correlação entre o tempo e a decomposição dos resíduos. A meia vida dos resíduos foi de aproximadamente 223 dias e tempo de reciclagem de aproximadamente 322 dias para a cana-de-açúcar. Tais dados se mostraram mais elevados que de algumas espécies utilizadas para formação de palhada que são consideradas de decomposição lenta, como *Canavalia brasiliensis* e *Mucuna pruriens* (COELHO, 2010).

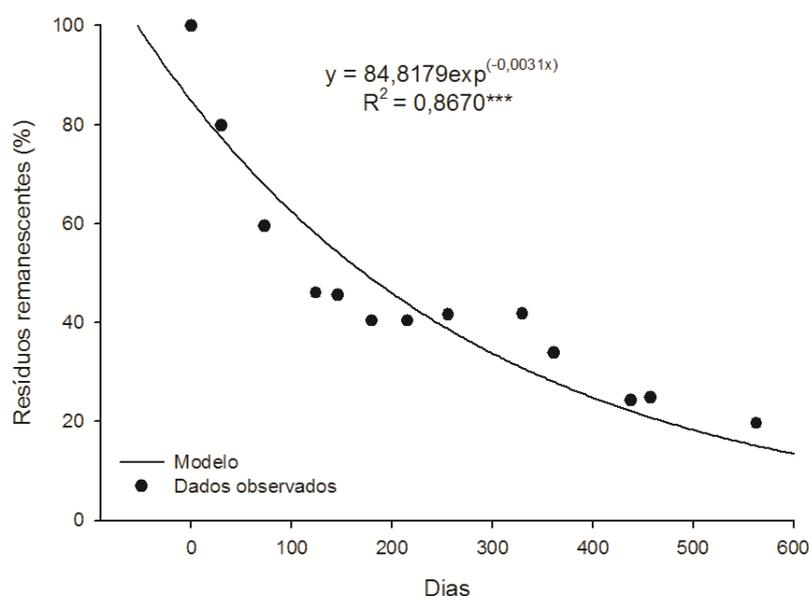


Figura 2. Porcentagem de resíduos vegetais de cana-de-açúcar remanescentes no campo em função do tempo de decomposição, Goiatuba, GO, 2011. *** significância a 0,1%.

5.2 Decomposição de hemicelulose

Os dados em função do tempo das concentrações de hemicelulose nos tecidos vegetais remanescentes estão apresentados na Figura 3. Observa-se que o teor de hemicelulose nos resíduos é praticamente constante ao passar do tempo, independente do estágio de decomposição da palhada. É possível concluir que a taxa de decomposição da hemicelulose foi constante ao longo do ciclo de decaimento dos resíduos e não foi afetada pelo estágio de decomposição da palhada, havendo baixa correlação entre os dados citados.

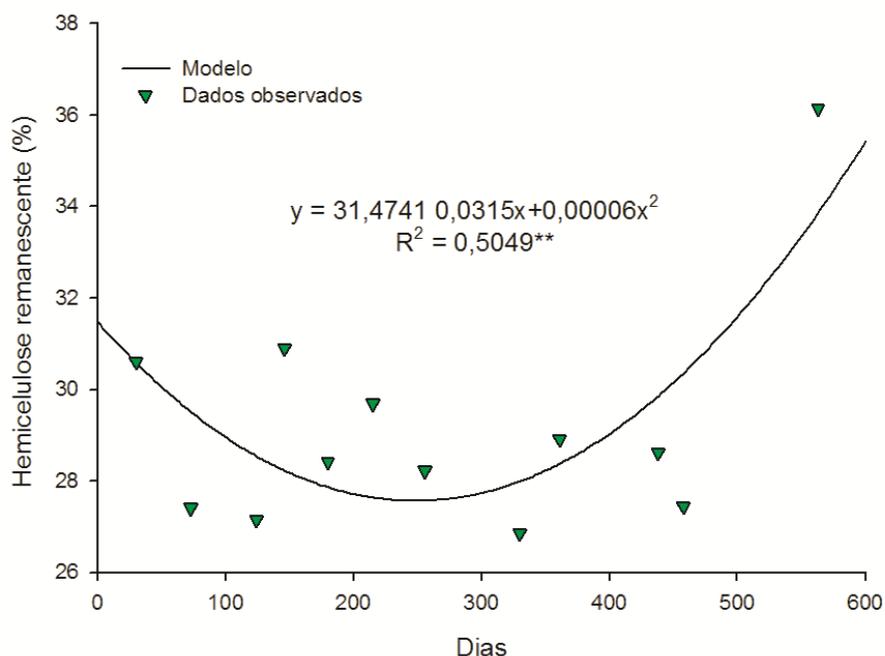


Figura 3. Teores de hemicelulose remanescente (%) em resíduos vegetais de cana-de-açúcar em função do tempo de decomposição, Goiatuba, GO, 2011. ** significância a 1%.

As quantidades em gramas de hemicelulose, celulose, e lignina remanescentes no resíduo estão apresentadas na Figura 4. Há uma diminuição na quantidade de hemicelulose ao longo do tempo, mostrando que a hemicelulose foi responsável direta por uma pequena parte dos resíduos mineralizados.

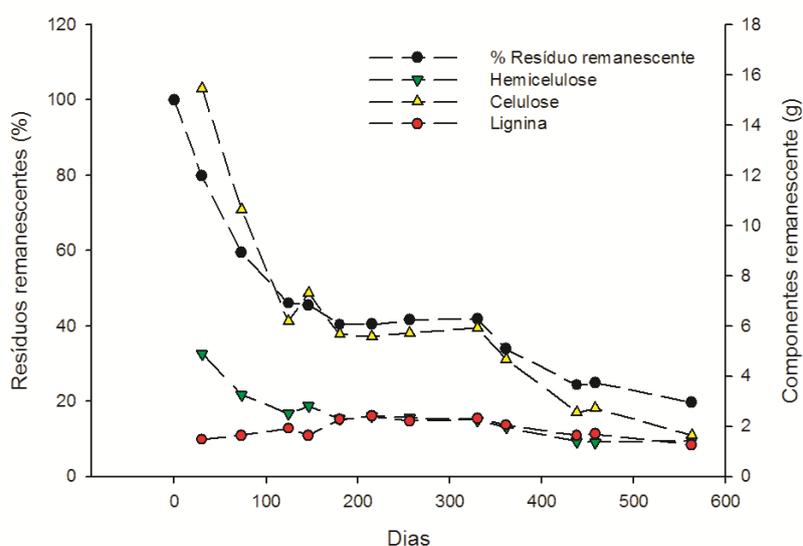


Figura 4. Porcentagens de resíduos vegetais remanescentes no tempo, e quantidades de hemicelulose, celulose, e lignina em gramas nesses resíduos, Goiatuba, GO, 2011.

5.3 Decomposição de celulose

As concentrações de celulose nos resíduos remanescentes diminuíram ao passar do tempo, o que mostra que a decomposição da celulose foi mais acelerada nos estágios mais avançados de decomposição da matéria. Esses dados mostram também que, apesar de a hemicelulose ser o componente estrutural considerado mais lábil (WAGNER & WOLF, 1999), a celulose foi decomposta mais rapidamente. Foi observada forte correlação entre o decaimento da celulose e o tempo, observando-se, também, correlação significativa entre o decaimento de celulose e o decaimento dos resíduos. Os dados estão apresentados na Figura 5.

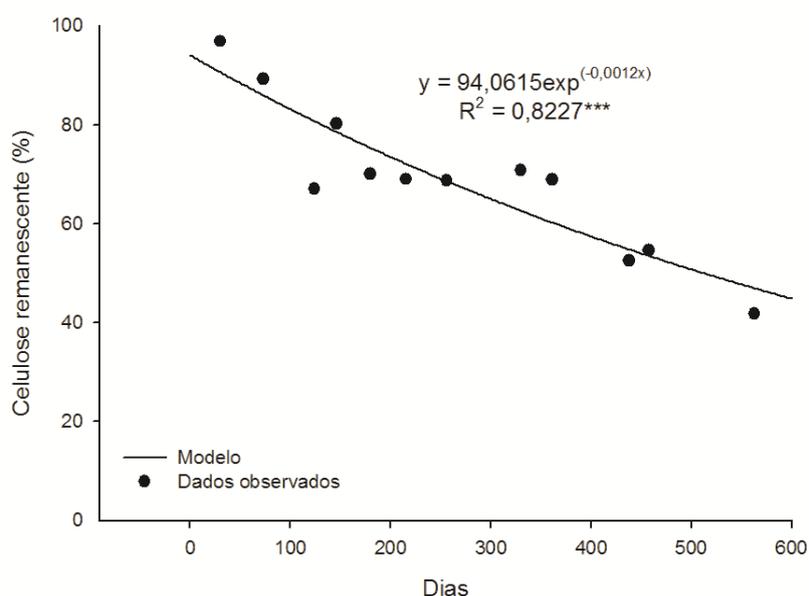


Figura 5. Percentagem de celulose nos resíduos de palhada remanescentes, em função do tempo de decomposição, Goiatuba, GO, 2011. *** significância a 0,1%.

O conteúdo de celulose em gramas nos resíduos remanescentes sobre o solo está apresentado na Figura 4. Devido à sua alta participação na composição do material vegetal, a celulose foi uma das principais fontes de material mineralizado para o solo.

5.4 Decomposição de lignina

A percentagem de lignina nos resíduos de cana-de-açúcar apresenta comportamento quadrático, com aumento de sua participação na matéria seca até aproximadamente 500 dias, com pequena diminuição a partir deste momento. Isto indica a resistência da lignina à decomposição, e sua persistência nos resíduos de cana-

de-açúcar ao longo dos 563 dias avaliados (Figura 6). Foi observada forte correlação positiva entre o tempo e os teores de lignina nos resíduos.

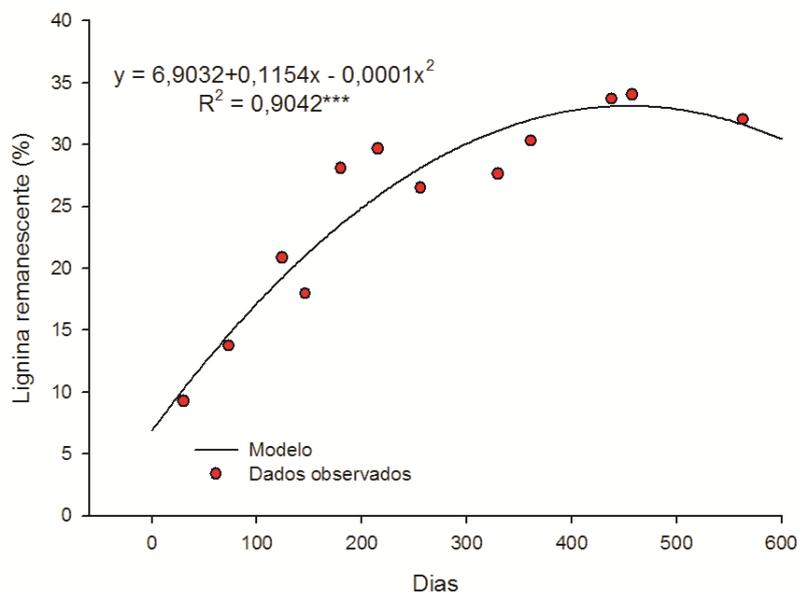


Figura 6. Teores (%) de lignina nos resíduos, em função do tempo de decomposição desses, Goiatuba, GO, 2011. *** significância a 0,1%.

Conforme verificado na Figura 4, a quantidade de lignina em gramas se manteve praticamente constante, apresentando decaimento apenas a partir da oitava retirada (aos 330 dias). Alves et al. (2011) observaram que a lignina não apresentou decomposição considerável em experimento com curta avaliação (28 dias), e que é necessário maior tempo de avaliação para uma correta análise desse composto. Dessa forma, pode-se dizer que o presente trabalho, conduzido em 563 dias, apresenta representatividade quanto a esse composto.

5.5 Relação C/N, relação Lignina/N e decomposição de nitrogênio

O nitrogênio apresentou mineralização apenas a partir dos 330 dias, e ao final dos 563 dias 48% do N presente nos resíduos haviam sido mineralizados (Figura 8). À medida que o estágio de decomposição dos resíduos avançou a concentração de N nos resíduos aumentou (Figura 7), mostrando que não há relação considerável entre a mineralização do N e os componentes menos resistentes à decomposição.

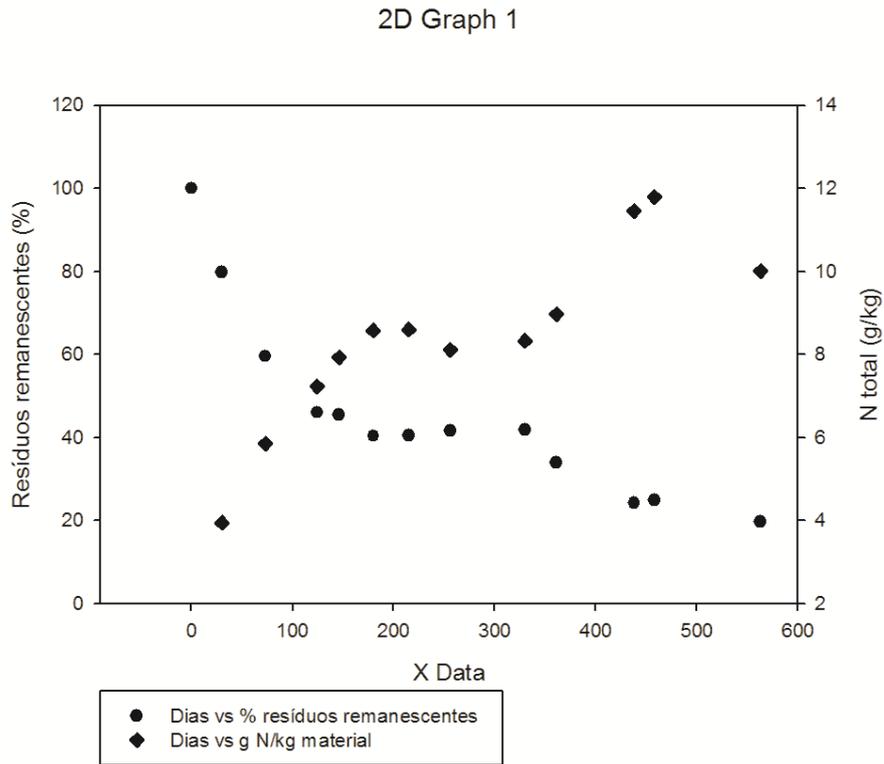


Figura 7. Porcentagens de resíduos vegetais remanescentes no tempo, e teor de nitrogênio nesses resíduos, Goiatuba, GO, 2011.

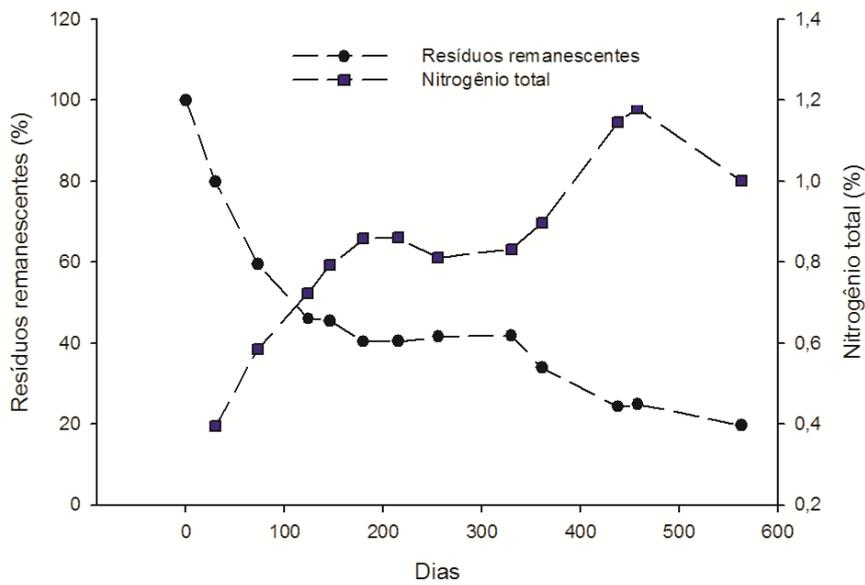


Figura 8. Porcentagem de resíduos vegetais de cana-de-açúcar remanescentes no campo e seus respectivos teores (%) de nitrogênio, em função do tempo de decomposição, Goiatuba, GO, 2011.

Foram analisadas também as relações C/N e Lignina/N. A relação C/N decaiu à medida que os resíduos eram mineralizados, devido principalmente à diminuição do carbono orgânico nos resíduos (Figura 9). Relação C/N e mineralização de resíduos apresentaram correlação significativa, indicando um possível aumento na decomposição dos resíduos à medida que há uma diminuição na C/N. O decaimento exponencial da relação C/N pode ser observado na Figura 10.

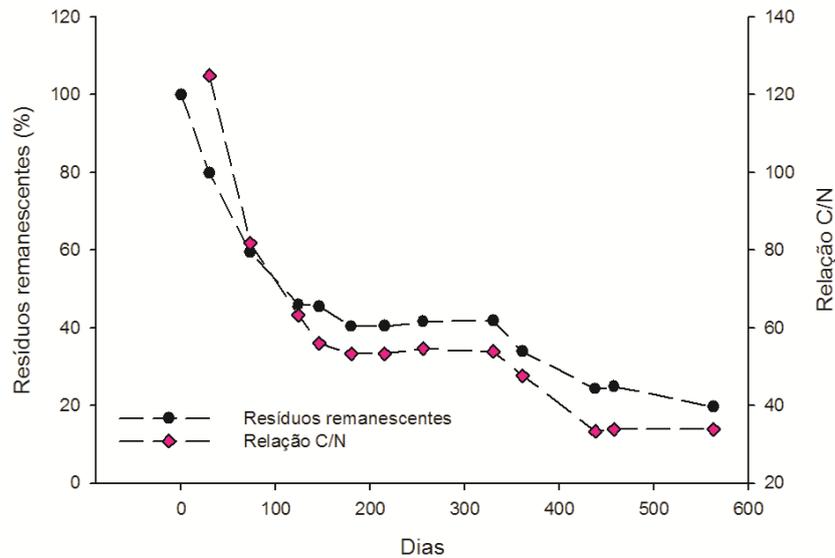


Figura 9. Porcentagens de resíduos vegetais remanescentes no tempo, e relação C/N desses resíduos, Goiatuba, GO, 2011.

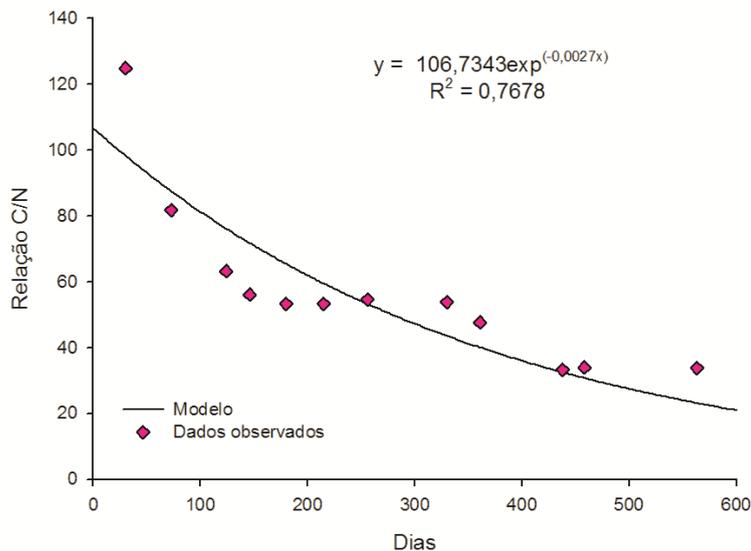


Figura 10. Decaimento da relação C/N no resíduos vegetais de cana-de-açúcar, Goiatuba, GO, 2011.

Não foi observada relação representativa entre a relação C/N e a diminuição dos teores de nitrogênio nos resíduos remanescentes. Estudos recentes indicam que um indicador mais relacionado à mineralização de N pode ser a relação lignina/N (PALM et al., 2001; VALAUWE et al., 2005).

Os dados de teores (%) de lignina e de nitrogênio, e de quantidades (em gramas) de lignina e de nitrogênio nos resíduos remanescentes foram analisados, e constatou-se forte correlação entre eles. Também foi analisada a correlação entre a relação lignina/N e conteúdo de N, observando-se considerável correlação.

Chaves et al. (2004) encontraram grande correlação negativa entre relação lignina/N e mineralização de nitrogênio. Desse modo, um aumento na relação lignina/N geraria uma diminuição na mineralização de nitrogênio. Os dados de relação lignina/N e conteúdo de N, concentração de nitrogênio e concentração de lignina, e de conteúdo de lignina e conteúdo de nitrogênio estão representados nas figuras 11, 12, e 13, respectivamente.

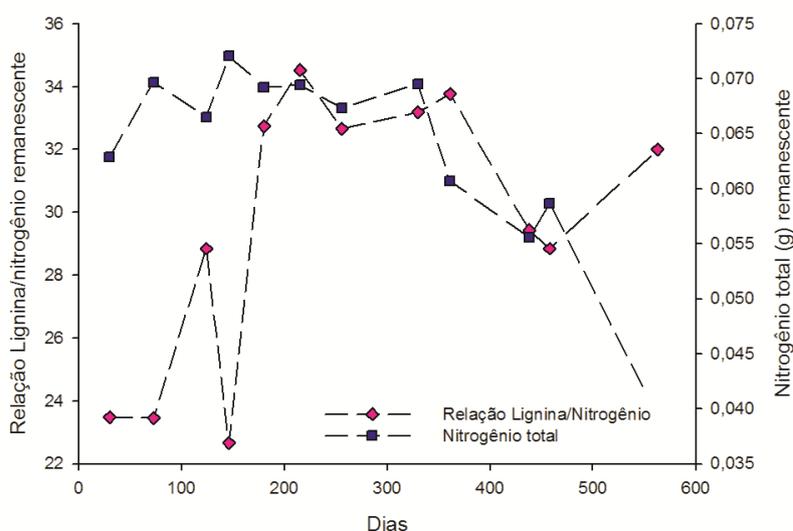


Figura 11. Conteúdo de nitrogênio e relação lignina/N de resíduos vegetais de cana-de-açúcar em função do tempo, Goiatuba, GO, 2011.

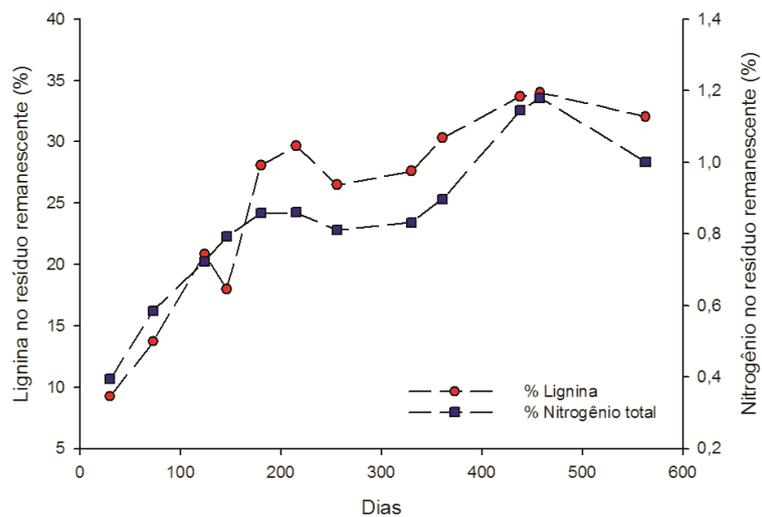


Figura 12. Teores (%) de lignina e nitrogênio em resíduos de cana-de-açúcar em função do tempo, Goiatuba, GO, 2011.

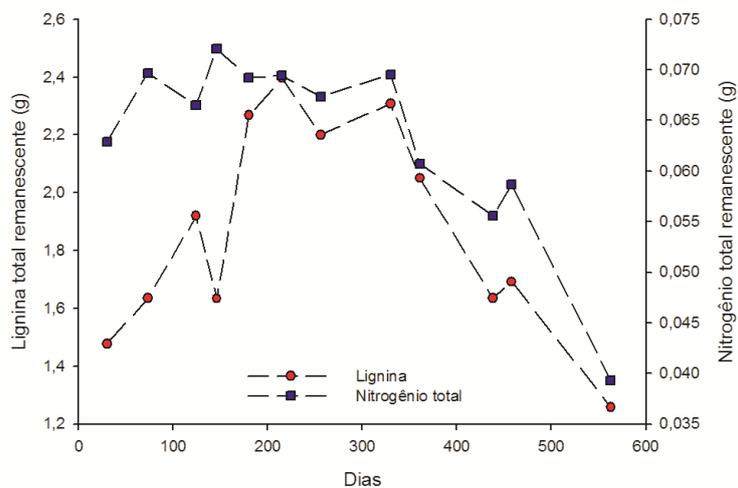


Figura 13. Conteúdos (g) de lignina e nitrogênio em resíduos de cana-de-açúcar em função do tempo, Goiatuba, GO, 2011.

A análise dos gráficos acima indica relação considerável entre decomposição de lignina e decomposição de nitrogênio. Como o nitrogênio não é parte constituinte da lignina, é possível que a lignina afete a decomposição do nitrogênio de forma indireta, impedindo a decomposição dos componentes nitrogenados enquanto não se inicia a decomposição da lignina, porém é necessária uma análise mais aprofundada para se confirmar tal possibilidade.

6. CONCLUSÕES

- Celulose, relação C/N, e quantidade de resíduos remanescentes apresentaram decaimento ao longo do tempo, com correlação forte entre os três parâmetros;
- Hemicelulose e lignina sofreram pouca decomposição ao longo do tempo, com sua concentração nos resíduos remanescentes praticamente constante;
- Decomposição significativa do N foi observada a partir de 330 dias, mesmo período em que se iniciou a decomposição da lignina. Foi observada forte correlação entre os dois parâmetros.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIANUAL 2012, 2012. **Anuário Estatístico da Agricultura Brasileira**. FNP Consultoria e Comércio, São Paulo, Brasil. 512 pp.

ALVES FILHO, E. G. et al. Discrimination of sugarcane according to cultivar by ¹H NMR and chemometric analyses. *J. Braz. Chem. Soc.*, São Paulo, v. 23, n. 2, Fev. 2012.

ALVES, R. N.; MENEZES, R. S. C.; SALCEDO I. H.; PEREIRA, W. E. Relação entre qualidade e liberação de N por plantas do semiárido usadas como adubo verde. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 11, p. 1107-114, Set., 2011.

AMARAL, W. A. N. do; ANEX, R. P. Life cycle analysis and indicators of sustainability of sugarcane production. In: COSER, T. R; DAVIS, M. J. (Ed.). **BIOFUESL: Reasonable Steps Towards a Renewable Energy Future**. Brasília, DF, Brazil: Fullbright Comission Brazil, 2010. p. 27-37.

ANDRADE, N. S. F. de et al. Impacto técnico e econômico das perdas de solo e nutrientes por erosão no cultivo da cana-de-açúcar. *Eng. Agríc.*, Jaboticabal, v. 31, n. 3, Jun. 2011.

ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo em sistema plantio direto. In: NOVAIS, R. F.; VENEGAS, V. H. A.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.) *Fertilidade do Solo*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 873-928.

BAKER, C. J.; SAXTON, K. E.; RITCHIE, W. R. No-tillage seeding: Science and practice. Wallingford, CAB International, 2996. 258p.

BEHLING, M. et al. Nodulação, acúmulo de nitrogênio no solo e na planta, e produtividade de soja em solo tratado com lodo de estação de tratamento de resíduos industriais. *Bragantia*, Campinas, v. 68, n. 2, 2009.

BERCHIELLI, T. T. et al. Avaliação da determinação da fibra em detergente neutro e da fibra em detergente ácido pelo sistema ANKOM. **Rev. Bras. Zootec.** Viçosa v. 30, n.5, Outubro 2001.

CAMPANHOLA, C.; VALARINI, P. J. A agricultura orgânica e seu potencial para o pequeno agricultor. *Cadernos de Ciência & Tecnologia.* Brasília, v. 18, n. 3, p. 69-101, set/dez. 2001.

CARVALHO, A.M. de. **Uso de plantas condicionadoras com incorporação e sem incorporação no solo:** composição química e decomposição dos resíduos vegetais; disponibilidade de fósforo e emissão de gases. 2005. 199f. Tese (Doutorado)-Universidade de Brasília, Brasília.

CARVALHO, A.M. de; BURLE, M. L.; PEREIRA, J.; SILVA, M.A. da. Manejo de adubos verdes no Cerrado. *Boletim técnico, Embrapa Cerrados, Planaltina,* n.4, p.1-28, 1999.

CATARELLA, H. Sugarcane production. In: COSER, T. R; DAVIS, M. J. (Ed.). **BIOFUELS: Reasonable Steps Towards a Renewable Energy Future.** Brasília, DF, Brazil: Fullbright Comission Brazil, 2010. p. 27-37.

CHAER, G. M.; TOTOLA, M. R.. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. *Rev. Bras. Ciênc. Solo,* Viçosa, v. 31, n. 6, Dec. 2007.

CHAVES, et al. Nitrogen mineralization of vegetable root residues and green manures as related to their (bio)chemical composition. **European Journal of Agronomy,** Amsterdam, v. 21, n. 2, p. 161-170, Ago., 2004.

COELHO, M. C.; LIMA, W. M.; SOUZA, J. P. S. P. de; DANTAS, R. de A.; FONSECA, O. P.; CARVALHO, A. M. de Teores de celulose, hemicelulose, e lignina em plantas de cobertura sob manejo na floração e maturação. In: ANAIS DO FERTBIO 2010, 2010, Guarapari. Anais do FertBio 2010, 2010.

CORREIA, J. R.; REATTO, A.; SPERA, S. T. Solos e suas relações com o uso e o manejo. In: SOUZA, D. M. G. de; LOBATO, G. Cerrado: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 29-61.

CORREIA, M. E. F. & ANDRADE, A. G. de Formação de serrapilheira e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, SANTOS, G. A.& CAMARGO, F. A. O. (eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais.** Gênese, Porto Alegre, Brasil, 1999. p. 197-225.

COSTA, M. B. B. (Org.); CALEGARI, A (Org.); MIYASAKA, S. (Org.) ; BULISANI, E. (Org.) ; AMADO, T. (Org.) ; MONDARDO, A. (Org.) ; WILDNER, L. (Org.) . **Adubação Verde no Sul do Brasil.** Rio de Janeiro: Assessoria e Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa, v. 2000, p.27-28 , 1991.

DENG, S. P.; TABATABAI, M. A. Cellulase activity of soils. *Soil Biol. Biochem.* V. 26. p. 1347-1354, 1994.

EITEN, G. Vegetação do Cerrado. In: PINTO, M. N. **Cerrado.** Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1993, p. 17-73.

EMBRAPA, Agência de informações. Bioma Cerrado. 2007. Disponível em: <<http://www.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/Abertura.html>>. Acesso em: julho 2012.

EMBRAPA. Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar. 2009. Disponível em: <http://www.cnps.embrapa.br/zoneamento_cana_de_acucar/1BR_ZAE_Cana.pdf>. Acessado em 18 Ago. 2012.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA - FEBRAPDP. Evolução da área de plantio direto no Brasil. Disponível em:<http://www.febrapdp.org.br>. Acessado em agosto 2012.

FONTANA, P. Considerações sobre a dosagem do nitrogênio pelo método de Kjeldahl. **Mem. Inst. Oswaldo Cruz**, Rio de Janeiro, 2012.

FURLANI NETO, V. L.; RIPOLI, T. C.; VILA NOVA, N. A. Biomassa de cana-de-açúcar: energia contida no palhiço remanescente de colheita mecânica. **Stab - Açúcar, álcool, e subprodutos**. v. 15, p. 24-27, 1997.

GALVANI, F.; GAERTNER, E. **Adequação da metodologia Kjeldahl para determinação de nitrogênio total e proteína bruta**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2006. 9p. (Circular Técnica, 63).

GARBIATE, M. V. et al. Erosão em entre sulcos em área cultivada com cana crua e queimada sob colheita manual e mecanizada. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, v. 35, n. 6, Dez. 2011.

GOEDERT, W. J. Potencial agrícola dos Cerrados. In: **Simpósio sobre o potencial agrícola dos Cerrados**, 1985, Goiânia. Trabalhos apresentados. EMGOPA / Campinas: Fundação Cargill, 1985. p. 1-2.

GRAHAM, M. H.; HAYNES, R. J.; MEYER, J. H. Soil organic matter content and quality: effects of fertilizer applications, burning and trash retention on long-term sugarcane experiment in South Africa. *Soil Biol. Biochem.* 2002; 34:93e102.

IZIDORIO, R. et al. Perdas de nutrientes por erosão e sua distribuição espacial em área sob cana-de-açúcar. *Eng. Agríc., Jaboticabal*, v. 25, n. 3, Dez. 2005.

JOHNSON, J. M. F.; BARBOUR, N. W.; WEYERS, S. L. Chemical composition of crop biomass impacts its decomposition. *Soil Sci. Soc. Am.* Jan. 2007; 71:155e62.

KÖPPEN, W., GEIGER, R. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes, 1928.

MAZZOLENI, E. M.; NOGUEIRA, J. M.. Agricultura orgânica: características básicas do seu produtor. *Rev. Econ. Sociol. Rural*, Brasília, v. 44, n. 2, Jun 2006.

MAZZOLENI, E. M.; OLIVEIRA, L. G. de. Inovação tecnológica na agricultura orgânica: estudo de caso da certificação do processamento pós-colheita. *Rev. Econ. Sociol. Rural*, Brasília, v. 48, n. 3, Set. 2010.

PALM, C. A.; CATHERINE, N.; GACHENGO, K.; DELVE, R. J.; CANDISCH, G.; GILLER, K. E. Organic inputs for soil fertility in tropical agroecosystems: application

of an organic resource database. **Agriculture Ecosystems and Environment**, 83: 27-42. 2001.

PICOLI, M. C. A. et al. Índice de vegetação do sensor MODIS na estimativa da produtividade agrícola da cana-de-açúcar. *Bragantia*, Campinas, v. 68, n. 3, Set. 2009.

REATTO, A.; CORREIA, J. R.; SPERA, S. T. Solos do Bioma Cerrado: aspectos pedológicos. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.(Ed.) *Cerrado: ambiente e flora*. Planaltina, DF: EMBRAPA-CPAC, 1998. p. 47-83.

RIBEIRO, H.; PESQUERO, C. Queimadas de cana-de-açúcar: Avaliação de efeitos na qualidade do ar e na saúde respiratória de crianças. *Estud. av. São Paulo*, v.24, n.68, 2010 .

ROBERTSON, J.B.; VAN SOEST, P.J., 1981. The detergent system of analysis and its application to humans foods. In: JAMES, H.P.T., THEANDER, O. (ed). **The analysis of dietary fiber in food**. New York: Marcel Dekker, p.123-158.

SANTOS, D. H. et al. Produtividade de cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 40, n. 4, p. 454-461, Dez. 2010.

SANTOS, P.F. & WHITFORD, W.G. The effects of microarthropods on litter decomposition in a Chihuazhuan ecosystem. *Ecology*, 62: 654-663, 1981.

SILVA, D.J. 1990. *Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos*. Viçosa: UFV. 166p.

SODRÉ FILHO, J.; CARDOSO, A. N.; CARMONA, R.; CARVALHO, A. M. de. Fitomassa e cobertura de solo de culturas de sucessão ao milho na Região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 39, n. 4, p. 327-334, 2004.

SPERA, S. T.; CORREIA, J. R.; REATTO, A. Solos do Bioma Cerrado: propriedades químicas e físico-hídricas sob uso e manejo de adubos verdes. In: CARVALHO, A. M. de; AMABILE, R. F. (Ed.) *Cerrado: adubação verde*. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006. p. 23-40.

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

VALAUWE, B.; GACHENGO, K.; SHEPHERD, E.; BARRIOS, G.; CADISCH, G.; PALM, C. A. Laboratory validation of a resource quality-based conceptual framework for organic matter management. **Soil Science Society of America Journal**, 69: 1135-1145. 2005.

VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of ruminant**. 2 ed. Cornell University Press, 1994, 476p.

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. 140p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

WAGNER, G. H.; WOLF, D. C. Carbon transformations and soil organic matter formation. In: SYLVIA, D. M.; FUHRMANN, J. J.; HARTEL, P. G.; ZUBERER, D. A. Principles and applications of soil microbiology. New Jersey, Prentice Hall, p. 218-256, 1999.

ZECH, W. et al. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. *Geoderma*, 79:117-161, 1997.

ANEXOS



Figura 14. Área de implantação do experimento, Usina Goiasa, Goiatuba, GO, 2011.



Figura 15. *Litter bags* sobre palhada no campo, Usina Goiasa, Goiatuba, GO, 2011.