

TAMIRES ESTHER FERREIRA

**DECOMPOSIÇÃO DA PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR EM ÁREA DE
RECOLHIMENTO VARIÁVEL SOB ADUBAÇÃO NITROGENADA MINERAL OU
INOCULAÇÃO COM BACTÉRIAS DIAZOTRÓFICAS**

Botucatu

2017

TAMIRES ESTHER FERREIRA

**DECOMPOSIÇÃO DA PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR EM ÁREA DE
RECOLHIMENTO VARIÁVEL SOB ADUBAÇÃO NITROGENADA MINERAL OU
INOCULAÇÃO COM BACTÉRIAS DIAZOTRÓFICAS**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Agricultura).

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol

Coorientador (a): Dra. Nilza Patrícia Ramos

Botucatu

2017

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP
- FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

F383d Ferreira, Tamires Esther, 1988-
Decomposição da palha de cana-de-açúcar em área de recolhimento variável sob adubação nitrogenada mineral ou inoculação com bactérias diazotróficas / Tamires Esther Ferreira. - Botucatu: : [s.n.], 2017
89 p.: il., color. , grafs., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2017
Orientador: Carlos Alexandre Costa Crusciol
Coorientador: Nilza Patrícia Ramos
Inclui bibliografia

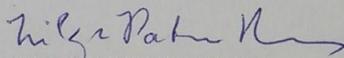
1. Cana-de-açúcar - Cultivo. 2. Nitrogênio - Fixação. 3. Adubação nitrogenada. 4. Minerais na nutrição de plantas. I. Crusciol, Carlos Alexandre Costa. II. Ramos, Nilza Patrícia. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas. IV. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

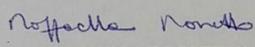
"DECOMPOSIÇÃO DA PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR EM ÁREA DE RECOLHIMENTO
TÍTULO: VARIÁVEL SOB ADUBAÇÃO NITROGENADA MINERAL OU INOCULAÇÃO COM
BACTÉRIAS DIAZOTRÓFICAS"

AUTORA: TAMIRES ESTHER FERREIRA
ORIENTADOR: CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL
COORIENTADORA: NILZA PATRICIA RAMOS

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA
(AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:


DR. NILZA PATRICIA RAMOS
./ EMBRAPA MEIO AMBIENTE


Prof. Dr. CRISTIANO ALBERTO DE ANDRADE
./ EMBRAPA MEIO AMBIENTE


Dra. RAFFAELLA ROSSETTO
Dep de Descentralização do Desenvolvimento / APTA - Pólo Regional de Desenvolvimento Tecnológico do
Centro Sul

Botucatu, 21 de agosto de 2017.

A minha rainha e ao meu rei Ana Maria Assef Ferreira e José Agostinho Ferreira, pelo apoio, confiança e motivação. Pai, mãe, obrigada pelo consolo nos momentos de angústias e orientação nos momentos de incerteza. Deus não poderia ter me reservado benção maior.

A vocês, o meu eterno amor.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aquele (s) que....

...me orientaram com sabedoria, paciência e maestria: Meus orientadores Nilza Patrícia Ramos e Carlos Alexandre Costa Crusciol.

...gentilmente me ajudaram na fase de processamento e análise com eficiência e muito bom humor: meus queridos Gabriela De Cia Moraes, Rebeca Ramos, Raíssa Silvestrin Stancatte, Rafael de Moura Dias e Thiers Alves Vidal.

...me deram apoio irrestrito no trabalho de campo e laboratório: a todos os funcionários do P10 (Rafa, Henrique, Valdemore, Julião, Barba, Abraão, Célinha, e em especial ao Paulo, a pessoa mais generosa e solidária que conheci durante toda a minha estadia na unidade.

Às funcionárias do Laboratório de Matéria Orgânica (LMO) e Central Analítica de Gases (CGS) Viviane Cristina Bettanin e Juliana de Oliveira Santos Marcatto pelos ensinamentos, profissionalismo e sobretudo, pela amizade.

À toda equipe da usina Açucareira Gualra, pela parceria, apoio e prestação de serviços, em especial meus agradecimentos ao Rogério Palhares Alves e Gustavo Villa Gomes.

...concedeu a bolsa de estudos, por meio de auxílio à pesquisa: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)

...me acolheu, e que hoje e sempre representará a minha segunda casa: Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP Boucatu

... tolerou meus momentos de loucura e desequilíbrio, e sempre me encorajou em todas as etapas do trabalho e a quem devo meus maiores momentos de alegria: Rafael Henrique Araújo de Souza.

...me apoiaram no dia a dia, seja com um abraço, uma palavra de incentivo, ou até mesmo pelo conforto dado por meio de uma prosa regada a boas doses de café e muitas risadas: Minhas queridas amigas de sempre, Bruna Alves Pereira e Luciane Domingues e aos mais recentes, porém não menos amados: Aline Puga (Viado 1), Cristina Carvalho (Cris), Ana Beatriz de Sousa Campos (Beatrixx), Miriam Büchler Tarumoto (Viado 2), Priscila Grutzmacher (Pri), Gabriela Rodrigues (Gabizinha) e Tulyo Ferreira Stravioti (Tutú).

... direta ou indiretamente contribuíram de alguma forma com o trabalho ...

muito obrigada!

RESUMO

A operação de recolhimento da palha de cana-de-açúcar trouxe a oportunidade ímpar de agregar sustentabilidade e renda extra ao setor sucroalcooleiro. Com isto, dúvidas surgiram sobre os efeitos que esta prática ocasionaria ao sistema solo-planta, e quais seriam as necessidades de alteração nas práticas de manejo, principalmente quando se trata da adubação nitrogenada, além de permitir a exploração de tecnologia pouco explorada, como a interação entre planta e microrganismos fixadores de nitrogênio. Neste sentido, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a dinâmica de decomposição de quantidades variáveis de palha pela aplicação de adubo nitrogenado mineral ou inoculação com bactérias diazotróficas. Para isto acompanhou-se a decomposição da palha durante a primeira soca da variedade IACSP 95-5000, testando três níveis de recolhimento (36, 64 e 100%), o equivalente à 4.300; 7.400; e 11.500 kg ha⁻¹ de palha mantida em campo e duas técnicas de cobertura: 120 kg ha⁻¹ de nitrato de amônio e a inoculação foliar com a mistura de cinco estirpes bacterianas (*Azospirillum amazonense*, *Gluconacetobacter diazotrophicus*, *Herbaspirillum seropedicae*, *Herbaspirillum rubrisubalbicans* e *Burkholderia tropica*). O experimento foi instalado em fatorial 3x2, distribuídos em blocos ao acaso com parcela subdivida no tempo (coletas). Para avaliar a decomposição foi utilizado o método de "litterbags", com coletas regulares aos 0, 101, 180, 235, 285 e 319 dias após a instalação em campo, permitindo o acompanhamento da taxa (%) e massa seca da biomassa, carbono, carboidratos estruturais, lignina, e nitrogênio remanescentes (kg ha⁻¹) além da relação C: N. Foram ainda avaliados na pré-colheita, os teores de C e N (%) do solo nas camadas 0-5cm e 0-10 cm, sendo esta última amostrada tanto na linha, como na entrelinha da cultura. Os resultados finais foram submetidos a análise de variância e regressão, e quando detectadas diferenças significativas, as médias foram comparadas por Tukey ($p < 0,05$). Ao final do experimento, a constante e a taxa de decomposição da massa seca e carbono da palha não são influenciadas independente das proporções de resíduo adicionadas sobre o solo ou técnica em cobertura, permanecendo em média 42% do inicial em campo a uma taxa média de decomposição igual a 58% e relação C: N variando de 41 a 47:1. O nitrato de amônio acelera a velocidade de decomposição dos

carboidratos estruturais, porém, a mineralização da lignina, importante parte do processo, foi maior quando se usou o inoculante FBN (38%) em relação ao nitrato (30%), e o mesmo é afirmado para o nitrogênio. Os teores de carbono e nitrogênio do solo não foram modificados pelos níveis de palha ou nitrato de amônio e inoculante FBN na camada 0-5 cm, porém, este último, potencialmente proporciona maiores entradas de C e N na linha da cultura à 0-10 cm. Os resultados permitiram concluir que a decomposição não é alterada por quantidades distintas de palha em campo tendo o inoculante FBN em cobertura um indicativo de novas oportunidades de manejo para o setor, pois sob as condições do estudo não interferiu sobre o processo de decomposição e promoveu o enriquecimento do solo.

Palavras-chave: *Saccharum* spp, resíduo de pós colheita de cana, adubação nitrogenada, fixação biológica de nitrogênio

ABSTRACT

The sugarcane straw recovering process brought an unique opportunity to join sustainability and income to sugarcane sector. Thus, doubts arose about the outcome that this practice would have on soil-plant system, and beyond, what would be necessary to change in management system, especially when it comes to nitrogen fertilization, both for amount and source selected, as well as poorly exploited technology using, such the relationship between plant and nitrogen-fixing microorganisms. Therefore, the research aimed to evaluate sugarcane straw levels and its effect on decomposition process by using mineral fertilizer and NBF inoculant. The experiment proceeded by following straw decomposition of IACSP 95-5000 first ratoon, testing three recovering rates (36,64 e 100%), which represents 4,300; 7,400; and 11,500 kg ha⁻¹ of straw left in the field and two top dressing techniques: 120 kg ha⁻¹ of ammonium nitrate and leaf inoculation with five bacterial strains (*Azospirillum amazonense*, *Gluconacetobacter diazotrophicus*, *Herbaspirillum seropedicae*, *Herbaspirillum rubrisubalbicans* and *Burkholderia tropica*). The experiment was installed in 3x2 factorial arranged in randomized blocks with design scheme of split plot (sampling). The decomposition process was accompanied by litterbags method with sampling at 0, 101, 180, 235, 285 and 319 days after installation which allowed to determine rate (%) and dry mass of biomass, carbon, structural carbohydrates, lignin, and nitrogen (kg ha⁻¹) besides C: N ratio. The C N contents (%) collected from 0-5cm layer was evaluated before harvesting, as well as 0-10 cm, but the last one were sampled from row and crop interrow. The results were submitted to variance analysis with regression and when significant differences were detected, means were compared by Tukey (p <0.05). At the end of the experiment, carbon and straw dry mass constant and decomposition rate are not influenced by different proportions left on soil or top dressing technique, remaining on average 42% in the field within a decomposition rate of 58% and C: N ratio ranging from 41 to 47:1. Ammonium nitrate accelerates the decomposition rates of structural carbohydrates, but lignin mineralization, an important part of the process, was higher when the FBN (38%) inoculant was used in relation to nitrate (30%), as well for nitrogen. Carbon and nitrogen soil contents were not modified by straw levels or ammonium nitrate and FBN inoculant on 0-5 cm layer, however, inoculant potentially provides higher C and N inputs in crop row at 0-10 cm. It's possible to conclude that decomposition process is

is not altered by different levels of sugarcane straw on soil surface, having FBN inoculant an indicate of new management opportunities for sugarcane sector, because under study purpose did not interfere on decomposition process and promoted soil enrichment.

Keywords: *Saccharum* spp, sugarcane post-harvest residue, nitrogen fertilization, nitrogen biological fixation

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Dados médios de precipitação mensal e acumulado histórico (1989-2017) e durante o período experimental.....33
- Figura 2** - *Litterbag* ou saco de decomposição instalado em campo, simulando a quantidade real de 100% de palha sobre o solo.....34
- Figura 3** - Visão da parcela durante fixação e após distribuição dos litterbags referente ao tratamento com 100% de palha.....35
- Figura 4** - Inoculante específico para cana-de-açúcar composto separadamente por cinco estirpes bacterianas (BR11145 *Azospirillum amazonense*; BR11135 *Herbaspirillum seropedicae*; BR11504 *H. rubrisubalbicans*; BR11281T *Gluconacetobacter diazotrophicus*, BR11366T *Burkholderia tropica*)36
- Figura 5** - Operação para limpeza da palha de cana-de-açúcar.....38
- Figura 6** - Massa seca remanescente de três quantidades de palha (4300, 7400 e 11500 kg ha⁻¹) mantidas no solo e duas técnicas de cobertura, sendo nitrato de amônio-COM e inoculante-FBN durante a primeira soca da variedade IACSP 95-5000, no município de Guaíra, safra 2014-2015.....43
- Figura 7** - Taxa de decomposição da biomassa seca (%) de três quantidades de palha (4300, 7400 e 11500 kg ha⁻¹) mantidas no solo e duas técnicas de cobertura, sendo nitrato de amônio-COM e inoculante-FBN, durante a primeira soca da variedade IACSP 95-5000, no município de Guaíra, safra 2014-2015. Letras iguais entre tratamentos indicam médias não significativas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).....45
- Figura 8** - Carbono remanescente de três quantidades de palha (4300, 7400 e 11500 kg ha⁻¹) mantidas no solo e duas técnicas de cobertura, sendo nitrato de amônio-COM e inoculante-FBN durante a primeira soca da variedade IACSP 95-5000, no município de Guaíra, safra 2014-2015.....48
- Figura 9** - Taxa de decomposição do carbono de três quantidades de palha (4300, 7400 e 11500 kg ha⁻¹) mantidas no solo e duas técnicas de cobertura, sendo nitrato de amônio-COM e inoculante-FBN durante a primeira soca da variedade IACSP 95-5000, no município de Guaíra, safra 2014-2015.

Letras iguais entre tratamentos indicam médias não significativas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).....48

Figura 10 - Celulose remanescente de três quantidades de palha (4300, 7400 e 11500 kg ha⁻¹) mantidas no solo (A) e duas técnicas de cobertura, sendo nitrato de amônio-COM e inoculante-FBN (B) durante a primeira soca da variedade IACSP 95-5000, no município de Guaíra, safra 2014-2015.....51

Figura 11 - Taxa de decomposição da celulose de quantidades de palha (4300, 7400 e 11500 kg ha⁻¹) mantidas no solo (A) e duas técnicas de cobertura (B), sendo nitrato de amônio-COM e inoculante-FBN, durante a primeira soca da variedade IAC95-5000, no município de Guaíra, safra 2014-2015. Letras iguais entre tratamentos indicam médias não significativas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).....52

Figura 12 - Hemicelulose remanescente de três quantidades de palha (4300, 7400 e 11500 kg ha⁻¹) mantidas no solo (A) e duas técnicas de cobertura, sendo nitrato de amônio-COM e inoculante-FBN (B) durante a primeira soca da variedade IACSP 95-5000, no município de Guaíra, safra 2014-2015.....53

Figura 13 - Taxa de decomposição da hemicelulose de três quantidades de palha (4300, 7400 e 11500 kg ha⁻¹) mantidas no solo (A) e duas técnicas de cobertura (B), sendo nitrato de amônio-COM e inoculante-FBN durante a primeira soca da variedade IACSP 95-5000, no município de Guaíra, safra 2014-2015. Letras iguais entre tratamentos indicam médias não significativas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).....54

Figura 14 - Quantidade (A) e teor (B) de lignina remanescente de três quantidades de palha (4300, 7400 e 11500 kg ha⁻¹) mantidas no solo durante a primeira soca da variedade IACSP 95-5000, no município de Guaíra, safra 2014-2015.....56

Figura 15 - Quantidade (A) e teor (B) de lignina remanescente de palha de cana-de-açúcar mantidas no solo em função de duas técnicas de cobertura sendo nitrato de amônio-COM e inoculante-FBN (B) durante a primeira soca da variedade IACSP 95-5000, no município de Guaíra, safra 2014-2015.....57

Figura 16 - Relação C: N média de três quantidades de palha (4300, 7400 e 11500 kg ha⁻¹) mantidas no solo (A) e duas técnicas de cobertura, sendo nitrato

de amônio-COM e inoculante-FBN (B) durante a primeira soca da variedade IACSP 95-5000, no município de Guaíra, safra 2014-2015.....59

Figura 17- Taxa de redução da relação C: N de três quantidades de palha (4300, 7400 e 11500 kg ha⁻¹) mantidas no solo (A) e duas técnicas de cobertura (B), sendo nitrato de amônio-COM e inoculante-FBN durante a primeira soca da variedade IACSP 95-5000, no município de Guaíra, safra 2014-2015. Letras diferentes entre tratamentos indicam médias significativas pelo teste de Tukey (p < 0,05).....60

Figura 18 - Quantidade (A) e teor (B) de nitrogênio remanescente de três quantidades de palha (4300, 7400 e 11500 kg ha⁻¹) mantidas no solo, durante a primeira soca da variedade IACSP 95-5000, no município de Guaíra, safra 2014-2015.....62

Figura 19 - Quantidade (A) e teor (B) de nitrogênio remanescente de palha de cana-de-açúcar mantidas no solo em função de duas técnicas de cobertura, sendo nitrato de amônio-COM e inoculante-FBN (B) durante a primeira soca da variedade IACSP 95-5000, no município de Guaíra, safra 2014-2015.....64

Figura 20 - Teores de carbono e nitrogênio do solo coletado abaixo de litterbags com palha de cana-de-açúcar na profundidade 0-5cm para duas técnicas de cobertura, sendo nitrato de amônio-COM e inoculante-FBN, durante a primeira soca da variedade IACSP 95-5000, no município de Guaíra, safra 2014-2015. Letras iguais entre colunas para a mesma quantidade de palha indicam médias não significativas pelo teste de Tukey a 5%.....66

Figura 21 - Teores de carbono e nitrogênio do solo coletados em dois locais de amostragem na profundidade 0-10cm em função de duas técnicas de cobertura, sendo Nitrato de amônio-COM e inoculante-FBN (B) durante a primeira soca da variedade IACSP 95-5000, no município de Guaíra, safra 2014-2015. Letras diferentes entre colunas para o mesmo local de amostragem indicam médias significativas pelo teste de Tukey a 5%.....68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características químicas do solo analisada em duas profundidades para a safra 2014/2015	32
---	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	18
2.1	Importância da cana-de-açúcar.....	18
2.2	Decomposição da palha de cana-de-açúcar	21
2.3	Adubação Nitrogenada em Sistema de Cana-Crua	25
2.4	Fixação Biológica do Nitrogênio em Cana-de-Açúcar	28
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	32
3.1	Descrição e condução da área experimental.....	32
3.2	Avaliações.....	36
3.2.1	Decomposição da palha em sistema de recolhimento variável	36
3.2.2	Enriquecimento da camada superficial do solo	40
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1	Massa seca e carbono remanescente	42
4.2	Carboidratos estruturais e lignina remanescentes	50
4.3	Relação C: N e nitrogênio liberado	58
4.4	Teores de carbono e nitrogênio do solo	66
5	CONCLUSÕES	71
	REFERÊNCIAS.....	72

1 INTRODUÇÃO

O Brasil se destaca no cenário mundial como maior produtor de cana-de-açúcar. Esta relevância é dada pelo modelo de eficiência agroindustrial que explora ao máximo a cultura, aproveitando-a quase totalmente como matéria-prima, de onde se produz açúcar, cachaça, biocombustível, fertilizantes, energia elétrica e produtos farmacológicos.

A inclusão da palha como oportunidade de negócio, é o exemplo desta eficiência, que só se viabilizou após a conversão do modelo clássico de colheita com queima para a colheita crua-mecanizada. Cabe destacar que esta mudança foi proposta para interromper os efeitos nocivos dessa operação sobre as emissões de materiais particulados (fuligem), um dos protagonistas pela piora da qualidade do ar e agravamento de doenças respiratórias de comunidades adjacentes.

A palha então, passou a ser preservada e mantida em quantidades significativas no campo ao final de cada safra agrícola. Com o uso de variedades adaptadas e mudanças de manejo, os prejuízos iniciais atribuídos a cobertura (falhas na brotação, aumento na incidência de pragas de solo, plantas espontâneas e quedas de produtividade) foram remediados, e a palha passou a contribuir positivamente, tanto para a qualidade do solo quanto para a produção elétrica, seja em parceria com o bagaço, quanto energética, protagonizando a produção de etanol 2G.

A oportunidade ímpar de agregar sustentabilidade e renda extra, redirecionou as atividades agrícolas que incluiu o recolhimento deste resíduo em campo. Com isto, surgiram dúvidas sobre quais seriam os efeitos que a prática ocasionaria na qualidade do solo e no desenvolvimento da planta, e mais além, quais seriam as necessidades de alteração nas práticas de manejo, dentre elas a adubação nitrogenada, tanto em relação à quantidade e fonte utilizada, como possíveis modificações causadas sobre

a decomposição deste resíduo em campo.

Atualmente, as fontes de fertilizantes nitrogenados são minerais e provenientes de combustíveis fósseis. Além de contribuírem negativamente para as mudanças climáticas, quando aplicadas incorretamente podem ter sua eficiência reduzida, sendo volatilizada e até mesmo imobilizada, o que justifica a pesquisa contínua deste tema em culturas agrícolas incluindo quebras de paradigmas como o aproveitamento das interações entre cana-de-açúcar e microrganismos fixadores de nitrogênio.

A confecção do inoculante específico para a cultura foi desenvolvido com cinco estirpes de bactérias diazotróficas isoladas de colmo, raiz e folhas de variedades brasileiras de cana, servindo como uma estratégia de manejo agroindustrial que permite complementar e/ou substituir os fertilizantes nitrogenados e reduzir os custos de produção. Adicionalmente, existem indicações de que os benefícios da FBN em cana não sejam restritos apenas à planta, mas seja ativado em plano rizosférico por organismos diazotróficos facultativos associados ao resíduo vegetal, com contribuições de N que podem superar os valores mineralizados pela palha, indicando uma nova rota de entrada do elemento no solo.

Com base no exposto, verifica-se que a função dos organismos diazotróficos vem sendo concretizada pela atuação positiva à nutrição da cana-de-açúcar, mas ainda é desconhecido seu efeito no sistema solo-palha, assim ergue-se a hipótese: de que a adubação nitrogenada mineral aumenta a mineralização da palha, comparativamente ao uso de bactérias diazotróficas como fixadora de nitrogênio para cana-de-açúcar; sendo que menores quantidades de palha mantidas no sistema apresentarão maiores velocidades de decomposição.

Diante do exposto, a pesquisa se propôs a avaliar a dinâmica de decomposição de quantidades variáveis de palha durante uma soca, sob adubação nitrogenada mineral ou inoculação com bactérias diazotróficas específica para a cana-de-açúcar.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Importância da cana-de-açúcar

A agroindústria da cana-de-açúcar representa uma das principais alavancas do agronegócio brasileiro, contribuindo com 10% do produto interno bruto (PIB) agropecuário, que foi de R\$ 531 bilhões em 2016 (MAPA, 2017). Neste cenário, o estado de São Paulo representa 53% desta contribuição, com 4,77 milhões de ha de área plantada e produção de 370 milhões de toneladas de colmos, na safra 2016-17 (CONAB, 2017).

A recuperação do setor mesmo diante da crise econômica vivenciada pelo país, em grande parte, se deve ao dinamismo da atividade canavieira e a flexibilidade produtiva das usinas, que transformam a matéria-prima bruta, subprodutos e resíduos em produtos comercializáveis. Subprodutos como a vinhaça e a torta de filtro (ALVARENGA; QUEIROZ, 2008), extraídos durante o processo industrial, se transformam e podem ser empregadas como fertilizantes na própria unidade. Adicionalmente, há o aproveitamento do bagaço da cana-de-açúcar, que acaba sendo destinado como fonte para cogeração de energia elétrica, e mais recentemente da palha para esta mesma finalidade e, em menor proporção, para a produção de etanol de segunda geração (ROSSETTO et al., 2013).

O acréscimo da palha como biomassa, passando a ser administrada como insumo agrícola e bioenergético tem como origem a transição do sistema de colheita. A principal razão para esta transição, não ocorreu por questões essencialmente técnicas, mas foi pautada no efeito nocivo desta operação sobre o agravamento de doenças respiratórias (PARAISO; GOUVEIA, 2015), e sobre o efeito estufa (FIGUEI REDO et al., 2010).

Para regularizar as atividades de acordo com as pressões sociais e ambientais, o governo do Estado de São Paulo decretou em 2003, a Lei Estadual 11.241, que dispõe sobre a eliminação gradual da queima na pré-colheita, com total extinção prevista para o ano de 2021 em áreas mecanizáveis e 2031 para não mecanizáveis (SÃO PAULO, 2003). Reforçando este processo, em agosto de 2007 foi firmado o protocolo agroambiental entre usinas, produtores de cana e o Governo do Estado de São Paulo, que antecipam as metas para o fim da queimada, determinando a extinção total da prática até 2017 (e até 2014 em áreas mecanizáveis). Já para fornecedores de cana, a proposta é a de que a eliminação total da queima ocorra até 2021 (RONQUIM, 2010).

A queima impedia o aproveitamento agrícola e energético da palha, pois promovia perdas de 70-95% matéria seca depositada na área, após cada colheita da cana-de-açúcar (MITCHELL et al., 2000). Considerando que a palha representa uma das principais fontes de entrada de carbono orgânico (CARVALHO et al., 2013), nas camadas superficiais do solo (CANELLAS et al., 2010), a estimativa de perda deste elemento com a queima é de 1,5 Mg ha⁻¹ ao ano de C_{org} (CERRI et al., 2011). O que, sob o ponto de vista agrícola, reduz em médio e longo prazo a matéria orgânica do solo e contribui para seu empobrecimento.

Quando se avalia o potencial de produção de energia elétrica, a palha, embora seja produzida na mesma quantidade que o bagaço (SANTOS et al., 2012), é duas vezes mais eficiente como fonte calorífica (MALUF; SANCHEZ, 2015) e pode substituir o equivalente a 1,2 a 2,8 barris de petróleo a cada tonelada produzida (RIPOLI, 2000). Estimativas mostram que em termos energéticos, considerando uma produtividade média de 85 Mg ha⁻¹, o aproveitamento integral da cana-de-açúcar (colmo, palha e bagaço), e a palha, neste caso, contribuindo com 1/3 dessa energia na forma de etanol 2G (MAGALHÃES; BRAUNABECK, 2010), dobraria a produção de etanol, passando dos atuais 7.000 L para aproximadamente 14.000 L, sem necessidade de expansão da área cultivada (MATSUOKA et al., 2012). Também pode ser mencionado os efeitos diretos indesejáveis da cobertura em campo, por exemplo, atrasando brotações em regiões mais frias, maior probabilidade de ocorrência de incêndios (ROSSETTO et al., 2008), e o desenvolvimento de pragas de solo (DORNELES JUNIOR et al., 2015) e plantas espontâneas (YAMAUTI et al., 2011), que foram acompanhados por quedas na produtividade em variedades suscetíveis à palha (GUIMARÃES et al., 2008). Por outro lado, com o desenvolvimento de genótipos

adaptados a cobertura, os benefícios da palha em campo superaram os imprevistos iniciais, e assumiu várias funcionalidades, seja de forma direta, como barreira física minimizando o avanço de processos erosivos e emergência de plantas espontâneas ou auxiliando na manutenção da água (PERES et al., 2010), e indiretos, advindos do processo de decomposição, como aumento da matéria orgânica, teor de C orgânico do solo (GALDOS et al., 2009), ciclagem de nutrientes (OLIVEIRA et al., 1999a; ROSSETTO et al., 2008), além de influenciar a biomassa microbiana do solo (SOUZA et al., 2012).

Por esta razão, a oferta de biomassa adicional, construiu a oportunidade ímpar de reunir diferentes aplicabilidades a palha, em prol do ramo bioenergético e elétrico, mas esbarra sobre um entrave quanto a quantidade de material que deve ser deixado em campo, sem que ocorra perdas dos benefícios proporcionados por essa biomassa. Há relatos de que a manutenção de cerca 50 a 65 % (MANECHINI et al., 2005; LORA et al., 2011) do volume total de palha em campo, não comprometem os ganhos produtivos do canavial e mantém o sistema solo-planta protegidos. Porém, deve se considerar que 50-65% da palha pode representar quantidades diferentes entre talhões. Neste sentido, Aquino e Medina (2014), trabalhando com a remoção de 10.000 kg ha⁻¹ de palha, não verificaram prejuízos à produção de colmos, ao contrário do recolhimento total e da manutenção de 5.000 kg ha⁻¹, em que foram observadas as menores produtividades. Por outro lado, Campos et al. (2008) avaliaram a influência da palha sobre o perfilhamento, o acúmulo de biomassa fresca e a produtividade da cana-de-açúcar da variedade SP83-2847, e observaram efeitos negativos da palha, em área total, sobre as três variáveis, com redução de cerca de 10% da produtividade. Resultados semelhantes foram encontrados por Campos (2010), com a variedade RB855453. Entretanto, Aquino e Medina (2015), observaram que a manutenção da palha sobre o solo causou aumentos de 43% na produtividade média da variedade SP80-1816.

Com base no exposto, verifica-se que ainda existe um longo caminho a ser percorrido pela pesquisa antes de uma recomendação definitiva a respeito do mínimo de palha a ser mantida, de forma a garantir a longevidade canavial e a qualidade do solo.

Neste contexto, são necessários esclarecimentos a respeito da dinâmica da decomposição do resíduo, com entendimento das contribuições que este processo

traz para o sistema envolvido e das mudanças necessárias ou não ao manejo, principalmente na adubação.

2.2 Decomposição da palha de cana-de-açúcar

A decomposição dos resíduos vegetais é um processo complexo, controlado principalmente por organismos decompositores, cuja atividade pode ser comprometida por uma comunhão de fatores, entre eles: a característica química do material orgânico (FORTES et al., 2012), a quantidade e fragmentação do resíduo, que vai determinar mais precisamente o maior contato com o solo (SANTANA et al., 2011), e as condições climáticas, relacionadas a temperatura, disponibilidade hídrica e oxigênio (HOLTZ, 1995; JENSEN et al., 2005).

A constituição bioquímica do material vegetal pode ser definida por suas proporções de carboidratos hidrossolúveis, proteínas, celulose, hemicelulose, ligninas e polifenóis no tecido (GONÇALVES et al., 2010), mas no que se refere a palha de cana-de-açúcar os principais compostos bioquímicos estudados são os carboidratos estruturais (celulose e hemicelulose) e lignina.

A redução da quantidade destes componentes na palha, em relação a uma quantidade inicial conhecida, pode fornecer informações sobre sua persistência em campo, o que, para estudos relacionados à esta natureza, vem sendo geralmente demonstrada pelo modelo exponencial múltiplo (cinética de primeira ordem) (THOMAS; ASAKAWA, 1993). Este modelo considera que a matéria orgânica não é um substrato homogêneo, neste caso, cada composto apresenta uma taxa de decomposição, e essa é proporcional à quantidade de recurso remanescente. Desta forma, os componentes são diferenciados de acordo com seu potencial de degradação, neste caso, as frações menos recalcitrantes da palha (celulose e hemicelulose), caracterizam perdas de massa seca rápidas, que tende a diminuir à medida que a porção recalcitrante (lignina) se mantém preservada por um período de tempo mais longo (FENGEL; WEGENER, 1989).

A lignina, que representa em média de 7 a 20% da massa seca da palha (FORTES et al., 2012) consiste em uma macromolécula com estrutura bidimensional e tridimensional complexa (CARVALHO et al., 2010) que em conjunto com a hemicelulose (20-35%) atuam como agentes cimentantes dos polímeros de celulose

(35 a 50%) (SANTOS et al., 2012), enrijecendo o tecido vegetal e dificultando o ataque de microrganismos e/ou enzimas (FENGEL; WEGENER, 1989). Isto justifica a afirmação de Carvalho (2005) de que há uma correlação inversa entre lignina e a taxa de decomposição da palha. Por outro lado, Oliveira (1999) apontam que a hemicelulose e o conteúdo celular são os maiores responsáveis pela diminuição de massa seca (80%) da palha da cana-de-açúcar, enquanto a lignina reduz apenas 30% durante 11 meses de avaliação. Também Coelho (2012) discorda sobre a contribuição da lignina, pois em estudo em solo de cerrado, afirmou que a celulose é o componente que mais se decompõe, colaborando sob a perda de massa seca, ao contrário da lignina, que só se mineraliza após 330 dias de avaliação.

Uma outra forma de se verificar o estágio da decomposição e grau de mineralização de componentes da palha de cana-de-açúcar, é por meio das relações entre elementos, como o C: N. O índice está relacionado ao balanço entre imobilização e mineralização do nitrogênio (N) a partir de um material vegetal deixado sobre o solo (SMITH; DOUGLAS, 1968). A diferença de intensidade entre estes dois processos simultâneos e opostos, poderá resultar em aumento na disponibilidade de N no solo (mineralização) ou na diminuição (imobilização).

Seguindo esta compreensão, a palha de cana-de-açúcar possui em média 390 a 450 g kg⁻¹ de C e 4,6 a 6,5 g kg⁻¹ de N (OLIVEIRA et al., 2002; NG KEE KWONG et al., 1987; ROBERTSON; THORBURN, 2007), que representa relação C: N de 80 a 100:1 (FORTES et al., 2012), bem acima do intervalo entre 20 a 30:1 onde passa a ser verificado a mineralização líquida do nutriente na cultura (VITTI et al., 2008; OLIVEIRA et al., 1999a).

A insuficiência de N no resíduo faz com que os microrganismos recorram a fonte de N disponível no solo para manter o crescimento da biomassa microbiana, justificando a baixa mineralização do elemento durante uma safra agrícola (OLIVEIRA, 1999; VITTI et al., 2008), e uma contribuição equivalente para o ciclo subsequente entre 3 a 30% (VITTI, 2008; VITTI et al., 2010).

Para Yamaguchi (2015), alterar a proporção da relação folhas secas/folhas verdes da palha pode ser uma estratégia de manejo importante para elevar o aporte de N, e potencialmente, reduzir a relação C/N, que poderiam resultar em maior velocidade de mineralização da palha e, conseqüentemente, aumento na disponibilidade de N às plantas e entrada de C no sistema. Menandro (2016) avaliando

isoladamente a taxa de decomposição dos compartimentos (ponteiro e folha seca), concluiu que os ponteiros devem permanecer no campo. Representando apenas 40% de matéria seca da palha, proporções semelhantes as encontradas na literatura (TRIVELIN et al., 2013; VIEIRA-MEGDA et al., 2015), esta porção mineralizou duas vezes mais N, servindo como uma fonte adicional para decompor as palhas remanescentes mais velhas, e modificar a composição química da palha, estreitando a relação C: N e possivelmente, as entradas dos elementos no sistema.

A composição da palha da cana-de-açúcar também foi um dos elementos citados por Ramos et al. (2015) como determinante para avaliações de decomposição. Isto porque, os autores descrevem que na safra do estudo, o tratamento com 27% de palha (5.900 kg ha^{-1}) foi constituído basicamente por material vegetal do ponteiro (composição percentual das frações não avaliada) que possui maiores teores de N em relação à palha com folhas antigas e menos enriquecidas com N. Neste caso, a adição de folhas verdes sobre a palha da safra anterior, pode ter auxiliado sobre a redução da relação C: N e acelerado a velocidade de decomposição, que foi demonstrada pela constante k ($0,003438$) em relação aos maiores níveis (14.800 e $21.000 \text{ kg ha}^{-1}$), que apresentaram $k = 0,002703$ e $0,002970$, respectivamente.

Enquanto Carvalho (2008) e Dietrich (2014), afirmam haver influência do nível de palha mantido sobre o solo na decomposição, que é justificado pela modificação pela superfície de contato entre solo-resíduo, limitando a interface para a atuação microbiana (SANTANA et al., 2011), Stancatte et al. (2015), discorda desta afirmação. Estes autores verificaram em sistema de recolhimento, que o tratamento com 75% de palha (9.150 kg ha^{-1}), se decompôs 37% mais rápido ($k = 0,003613$) que o menor nível (3.100 kg ha^{-1} $k = 0,002207$). O mesmo foi observado por Moraes et al. (2014), para o tratamento 100% ($18.800 \text{ kg ha}^{-1}$) de palha, que ao longo do tempo se decompôs 24% mais rápido ($k = 0,003683$) frente ao tratamento 25% com 4.700 kg ha^{-1} de palha ($k = 0,00279$) em cana de primeira soca. Entretanto, Ramos et al. (2015), avaliando a decomposição de segunda soca na mesma área experimental, mas sob verão atípico, sem chuva, observaram resultado estatístico significativo para o decaimento de 27% de palha (5.900 kg ha^{-1} ($k = 0,003438$)) comparado aos maiores volumes (14.800 e $21.000 \text{ kg ha}^{-1}$) que apresentaram $k = 0,002703$ e $0,002970 \text{ dia}^{-1}$, respectivamente. De acordo com os autores, essa inversão na constante de decomposição foi substancialmente afetada pelas condições climáticas locais (baixa precipitação e alta

temperatura). Outros autores também verificaram relação direta entre a decomposição de resíduos de cana-de-açúcar na superfície do solo e a temperatura ou a precipitação (OLIVEIRA et al., 1999a; ROBERTSON; THORBURN, 2007).

Nesta compreensão, Oliveira et al. (2002), avaliaram a decomposição da palha de cana-de-açúcar em dois ambientes agrícolas e observaram decaimento de massa seca da palha variando de 30% aos 330 dias a 78% aos 360 dias, atribuindo tal diferença à umidade e a temperatura do solo. Também, Trivelin et al. (2002) e Fortes et al. (2012) citam as condições ambientais como determinantes para as diferenças de 26% na taxa de decaimento de matéria seca em um ano safra.

Isto se deve ao fato de a palha em superfície, provocar mudanças no sistema solo-planta, incluindo a perda de água por evaporação (PERES et al., 2010) e o aquecimento excessivo das camadas superficiais (TIMM, 2002; MENANDRO, 2016), minimizando os ciclos oscilatórios de molhamento e/ou secagem do solo e amplitude térmica, variáveis estas, que desencadeiam estresse aos microrganismos (FIERER; SCHIMMEL, 2002). Por esta razão, a decomposição da palha resulta da intensidade da atividade dos decompositores, e, por conseguinte, é razoável supor que a abundância e/ou composição de microrganismos nos solos sejam essenciais para o funcionamento do ecossistema.

Quanto a composição, em áreas com palha de cana foi verificado tanto a presença de bactérias como *Zymomonas* e *Cellulomonas*, quanto fungos decompositores *Aspergillus*, *Trichoderma* e *Penicillium* (FORTES et al., 2012), os dois últimos comumente encontrados no interior do resíduo (HILL; PATRIQUIN, 1990), são do tipo celulolítico (CHERRY; FIDANTSEF, 2003) e o mesmo pode ser dito para *Cellulomonas* (LYND et al., 2002), já o gênero *Zymomonas* atrai a atenção do setor alcooleiro devido às qualidades fermentativas (BEHERA et al., 2012).

Após prospecção de microrganismo em área de recolhimento de palha, Moraes et al. (2015) concluíram que a população de fungos é predominante em relação às bactérias, e que a população destes microrganismos maior em solo com 50% da cobertura (9.400 kg ha⁻¹). Já por análise qualitativa (extração DNA) em estação seca e úmida (19 e 12 meses, respectivamente), Rachid et al. (2016), não perceberam influência dos níveis de palha de cana (0, 50 e 100%) sobre a comunidade bacteriana do solo, o que indica que esta população pode ser afetada por outras práticas de manejo (queimada, colheita manual x mecanizada), entretanto, houve efeito da sazonalidade sobre a comunidade fúngica, passando a ser mais definida sob restrição

hídrica, porém foi ampla para 100% de palha sob as duas condições.

Siqueira e Franco (1988) relataram que esta biomassa pode variar de 400 a 5.000 kg ha⁻¹, possivelmente, porque se alimentam preferencialmente de substratos recalcitrantes e com alta relação C:N (CONDRON et al., 2010), características químicas que definem a palha de cana-de-açúcar.

Ainda que o objetivo diretamente não envolva a decomposição, a prática de adubação também pode contribuir acelerando o processo (OLIVEIRA, 1999), pois interfere na população microbiana no solo, porém, o efeito aditivo periódico da fonte, pode retardar a decomposição por promover possíveis interferências na composição do resíduo (POTRICH, 2012). Em termos biológicos, a concentração de N-fertilizante além de modificar a composição de fungos (PAUNGFOO-LONHIENNE et al., 2015), inibe a síntese de enzimas essenciais a desconstrução da lignina (CARREIRO et al. 2000) e pode reagir com este componente da palha e formar complexos ainda mais recalcitrantes (BERG, 2000).

2.3 Adubação Nitrogenada em Sistema de Cana-Crua

A maior limitação a produtividade dos canaviais brasileiros, não se restringe apenas a luminosidade, temperatura, ou disponibilidade de água, mas aos teores adequados de nutrientes essenciais a planta, com destaque para o nitrogênio (N) (TRIVELIN; VITTI, 2006).

Apesar deste elemento representar apenas 1% da matéria seca da cana e ser o segundo nutriente mais extraído pela cultura (CASTRO, 2016), sua participação durante o desenvolvimento vegetal é indispensável. Processos essenciais como fotossíntese (CASTRO, 2016) crescimento celular e perfilhamento (KINGSTON, 2014) são regulados pelo elemento, e uma vez detectada a deficiência, os resultados normalmente são refletidos pelo decréscimo de produtividade e lucratividade do canavial.

Pelos dados de extração da cana, para cada Mg de colmos produzido há necessidade de aplicação de 1 a 1,3 kg de N (FRANCO et al., 2011; OLIVEIRA et al. 2010) pois cerca de 50-70% deste valor é exportado do sistema com o colmo (ROSSETTO et al., 2010; SCHULTZ et al., 2010), exigindo adubações regulares. Atualmente, para esta operação são usados fertilizantes minerais (FRANCO et al., 2011), como a ureia (45%), nitrato de amônio (32%), sulfato de amônio (20%), entre

outras (CANTARELLA et al., 2007a; MALAVOLTA; MORAES, 2009). Porém, já se discute a contribuição do N armazenado na reserva do colmo-semente (CARNEIRO et al., 1995), no rizoma e reservas das raízes (VITTI et al., 2007), bem como a fixação biológica de nitrogênio (SCHULTZ et al., 2010). Outras formas como a mineralização de adubos verdes na fase de reforma do canavial e dos resíduos vegetais da própria cultura (FORTES et al., 2012) também estão em estudo.

Como o fertilizante nitrogenado mineral ainda é o mais aplicado nos canaviais (FRANCO et al., 2011), a literatura é vasta e contrastante quanto às respostas da cana-de-açúcar às doses e fontes destes produtos (FRANCO, 2008), tanto em condição de colheita de cana-crua, como queimada. Estas variações reforçam as dúvidas a respeito do manejo deste elemento diante do recolhimento parcial da palha.

Buscando otimizar a eficiência de uso dos fertilizantes nitrogenados, várias dúvidas surgiram a respeito não só da dose, mas a respeito da escolha da melhor fonte a ser aplicada e adequação do local e/ou forma de aplicação. O conceito de que no sistema com queima se obtinha bons resultados com a incorporação do fertilizante ao solo, principalmente ureia, não poderiam ser adotados na condição de recolhimento, que mantém apenas parte da palha sobre o solo.

A perda da ureia em superfície se deve basicamente ao processo de volatilização por ação da urease, uma enzima sintetizada por bactérias e fungos, que pode ser estimulada pela presença de resíduos culturais (HARGROVE, 1988), agindo como um catalisador da reação de hidrólise da ureia à forma gasosa de amônia (NH_3). As perdas para o sistema cana-crua desta natureza somam de 24 a 31% do total de N aplicado (CANTARELLA et al., 2008; COSTA et al., 2003; MARIANO et al., 2012), com pico de emissão mais expressivo durante a primeira semana (TASCA et al., 2011).

Segundo trabalhos de Cantarella et al., (2008) e Nascimento et al., (2012), a substituição da ureia pelo nitrato de amônio em cana crua, constitui-se numa boa opção, já que a volatilização destas fontes representou perdas pequenas, mais precisamente $0,2 \text{ kg ha}^{-1}$ de N_{NH_3} , para doses variando de 80 a 120 kg de N, respectivamente. Estes mesmos autores investigaram e diagnosticaram efeitos positivos de novas fontes, como o sulfato de amônio (SA) e a inserção de tecnologias como a conjugação dos grânulos de ureia com metais e uso de inibidores de urease. Além destes, existem técnicas alternativas, como o coproduto da fabricação do ácido glutâmico, utilizado em canaviais no estado de São Paulo (COSTA et al., 2003)

e a produção de fertilizantes de eficiência aumentada que usam inibidores de nitrificação (SOARES et al., 2014) e biopolímeros (ZHEN-YI et al., 2014).

Seguindo a premissa de que o N é um dos elementos mais dinâmicos do sistema solo-planta-atmosfera (CANTARELLA, 2007a), a técnica de diluição isotópica com ^{15}N foi aplicada em estudos de cana (FARONI, 2003; VITTI et al., 2007), para revelar a entrada de N proveniente no sistema e verificar o papel do fertilizante e da palha de cana-de-açúcar, como provedores de N às plantas.

Em geral, a contribuição de ^{15}N -fertilizante para a nutrição das plantas, representa menos de 40% do total acumulado (FRANCO et al., 2011), enquanto a palha de cana-de-açúcar, ainda que possa contribuir com 40 a 120 kg ha⁻¹ de N ano⁻¹ (FRANCO et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2002; ROBERTSON; THORBURN, 2007), fornece para o ciclo subsequente por meio da mineralização, o equivalente entre 3 a 30% (VITTI, 2008; VITTI et al., 2010). Deste total, 5 a 17 % é recuperado pela planta (KEE KWONG et al. 1987; VITTI et al., 2010; VITTI et al., 2011b).

Tal efeito é atribuído a elevada relação C: N (FORTES et al., 2013a; FORTES et al., 2012), e por esta razão, é previsto que no primeiro ano agrícola, ocorra imobilização do N da palha pela biomassa do solo, limitando a recuperação de N pelas plantas (VITTI et al., 2010). Talvez este comportamento embase o argumento da baixa eficiência do fertilizante neste sistema.

A palha, neste caso, não aparenta colaborar de forma tão expressiva como fonte de N em curto prazo, porém, em estudo de longa duração realizado por Robertson e Thorburn (2007), o N contido no resíduo, foi se tornando gradualmente disponível para a cultura, atingido equilíbrio após 40 anos. O mesmo resultado foi confirmado por Vallis et al. (1996), concluindo que em 20 anos, o N mineralizado da palha representaria uma economia de cerca de 40 kg ha⁻¹ de N ao ano em N-fertilizante.

Em condição brasileira, Trivelin et al (2013), estimaram por meio de modelo, que há potencial de redução na adubação nitrogenada, em 30 anos, de 36, 28, 23, 19, e 14 kg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente, para 100, 70, 50, 30, e 10 % de palha depositada sobre o solo. Os mesmos autores previram que após 45 anos esta contribuição reduziria cerca de 40, 32, 26, 21 e 15 kg ha⁻¹ ano⁻¹ da dose de fertilizante, o que resultaria em racionalização de insumos, economia nos custos de produção e sobretudo, conservação dos recursos naturais.

Por outro lado, a adubação nitrogenada por si só, não pode ser desprezada, pois tem a finalidade de reabastecer o reservatório de N do solo, e restituir o elemento periodicamente, considerando a baixa fertilidade dos solos tropicais e o potencial de exportação da cultura a cada safra (ROSSETTO et al., 2010; SCHULTZ et al., 2010). A prática também auxilia no aumento do aporte de N pela palha provavelmente devido à redução da relação C: N (FORTES et al., 2012, VITTI et al., 2010), o que aumentaria o desempenho da cultura e da absorção de N (FRANCO et al., 2008a; FRANCO et al., 2010).

Trabalhos mais recentes em cana sem queima prévia apresentam tendências de aumento nas doses de N para soqueiras (VITTI et al., 2007; ROSSETTO et al., 2010a; FORTES et al., 2013; PENATTI, 2013), que é justificado pelo desenvolvimento de variedades mais produtivas e responsivas à adubação (PENATTI, 2013). No entanto, a quantidade aplicada precisa ser acompanhada por aumentos proporcionais de produtividade, aliado ao monitoramento nutricional das plantas, que muitas vezes não é realizado. A conduta do manejo de adubação apoiada em informações sobre o histórico e expectativa de produtividade da área, pode distorcer a necessidade real da cultura, e causar desequilíbrio nas propriedades do solo, além de colaborar nas emissões de GEE (DENMEAD et al., 2010).

2.4 Fixação Biológica do Nitrogênio em Cana-de-Açúcar

A fixação biológica do nitrogênio (FBN) pode ser descrita como um processo onde organismos do grupo *Archaea*, incluindo vários grupos de bactérias, expressam o complexo enzima nitrogenase, um sistema formado por duas unidades proteicas (Fe proteína e MoFe proteína), que sob condições de temperatura ambiente e pressão normal (ZEHR et al., 2003), realizam a redução de N_2 a NH_3 (OHYAMA et al., 2014). O produto final (NH_3) é a provável forma de fornecimento de nitrogênio às plantas, por atuar como precursor de formas orgânica e inorgânica que regulam os demais processos biológicos (CANTARELLA, 2007a).

O questionamento acerca de uma possível relação estabelecida entre a cana-de-açúcar e estes microrganismos funcionais, é dada pela baixa eficiência do fertilizante que é recuperado pelas plantas, geralmente menor que 40% (FRANCO et al., 2011).

Outro fato relevante se trata de áreas produtoras que por várias décadas não sofrem exaustão química (CANTARELLA et al., 2007), causado pela depleção no estoque de N (SCHULTZ, 2012), mesmo aplicando doses relativamente baixas de fertilizante (URQUIAGA et al., 2012). Seguindo essa compreensão, levantamentos realizados por, Azeredo et al. (1986), nas principais áreas produtoras de cana-de-açúcar do país, constataram que apenas 19% de 135 experimentos com aplicação de N fertilizante em cana-planta houve resposta significativa à adubação, inclusive a ausência de efeito também foi observada em cana soca (OLIVEIRA et al., 2006; SCHULTZ et al., 2012a).

A suspeita de que a cultura da cana-de-açúcar detinha um sistema natural de reposição eficiente de N (URQUIAGA et al., 2011), ganhou impulso, sobretudo, após trabalhos pioneiros liderados por Johanna Döbereiner (1953) verificarem a presença da bactéria *Beijerinckia fluminensis* (atualmente renomeada para *Azorhizophilus paspali* e *Azotobacter paspali*), associada à rizosfera da planta (DÖBEREINER; RUSCHEL, 1958). No fim da década de 80, Segundo Sacramento Urquiaga Caballero, um dos membros de sua equipe, utilizou a técnica de diluição isotópica de ^{15}N para quantificar a FBN em cana, constatando a contribuição relativa de 70% do total de N acumulado em variedades brasileiras (URQUIAGA et al., 1992), enquanto BODDEY et al. (2001), aplicando a mesma técnica, mostrou contribuições em torno de 30%. Por outro lado, em países com características climáticas semelhantes, como África do Sul e Austrália, a FBN acaba não sendo tão promissora para a nutrição da cultura, indicando ausência de contribuição (BIGGS et al., 2002; HOEFSLOOT et al., 2005).

Uma possível causa da baixa eficiência da FBN em gramíneas pode estar relacionada a baixa persistência de determinados grupos de microrganismos no interior da planta, possivelmente relacionado a atuação de genes de defesa vegetal (LAMBAIS, 2001). Para Schultz et al. (2016), a FBN é altamente sensível as condições edafoclimáticas, outros autores, associam a influência do estado nutricional, idade e genótipo da planta (POLIDORO, 2001; FUENTES-RAMIREZ et al., 1993; MONTEIRO et al., 2012), o ambiente em que a inoculação é realizada (SEVILLA et al., 2001), assim como as diferenças nas metodologias de avaliação (UNKOVICH et al., 2008).

Apesar de os mecanismos singulares de FBN em cana ainda serem pouco compreendidos, novos avanços foram feitos, e várias bactérias foram isoladas e identificadas em diferentes órgãos da planta (MOREIRA et al., 2010), estimulando a busca em direção a elaboração de um inoculante específico (OLIVEIRA et al., 2003).

Veronica Massena Reis, atual coordenadora do grupo da Embrapa Agrobiologia, iniciou as pesquisas nesta área em 1982, quando entrou na instituição para trabalhar com gramíneas. O inoculante específico para a cana-de-açúcar é resultado de ávida pesquisa e criterioso processo de seleção das mais promissoras bactérias fixadoras isoladas da planta. O resultado foi atingido com a combinação de cinco estirpes de bactérias, do tipo associativa (*Azospirillum amazonense*) e endofítica (*Herbaspirillum seropedicae*; *H. rubrisubalbicans*; *Gluconacetobacter diazotrophicus*, *Burkholderia tropica*). Acredita-se que estas bactérias sejam as responsáveis por altas contribuições de FBN associadas à cultura (BALDANI et al., 1997), e a estimativa de economia de fertilizante nitrogenado usando o inoculante FBN para substituir metade da dose recomendada em lavouras de cana-de-açúcar brasileiras (60 kg N ha⁻¹) segundo Reis et al. (2009), seria de 150.000 toneladas de N por ano, que corresponderia a 735 milhões de reais.

Além disso, o benefício da relação planta-diazotrófico não é exclusivo do processo FBN (BASHAN et al., 2004). A interação bacteriana com plantas na zona rizosférica, também produziria efeitos indiretos, como a produção de fitormônios (SUMAN et al., 2005), solubilização de fosfatos (SINGH et al., 2007), incremento no teor de C orgânico do solo e extração de nutrientes na rizosfera (YADAV et al., 2009; TAULE et al., 2012; BENEDUZI et al., 2013).

Para que a FBN se expresse, é necessário, sobretudo, fontes prontamente disponíveis de carbono, que sirvam para sustentar tanto o crescimento e multiplicação dos diazotróficos quanto o gasto metabólico do processo (BALDANI et al., 2009). Já o N de reforço é necessário para o crescimento e estabelecimento das plantas até que se inicie a FBN, pois o sucesso da fixação está intimamente associado a ambientes desprovidos deste nutriente (FRANCO; NEVES, 1992).

Nesse caso, a palha de cana-de-açúcar (C: N 100) serviria como elemento ideal para os microrganismos presentes na rizosfera, entre eles, os diazotróficos associativos (BALDANI et al., 1997), criando um habitat satisfatório para o estabelecimento e efetuação da fixação.

O potencial de algumas bactérias diazotróficas de vida livre é demonstrado por meio da inoculação na palha de cana ou outros resíduos ricos em carbono e sua incorporação ao solo (HILL; PATRIQUIN, 1995) resultando em altas taxas de FBN.

A fixação de N₂ é favorecido pelos microespaços anaeróbicos e microaeróbicos

formados na superfície solo-palha (HILL; PATRIQUIN, 1990), que passam a suportar a FBN. Lincoln e Vitousek (2016) confirmam que a prática de manutenção de resíduo por si só pode elevar o processo de fixação durante a decomposição, mas advertem que a quantidade de N fixado é dependente do volume de material produzido, observando pico de fixação de N ocorrendo a uma profundidade de cobertura de 5 cm. Silvester e Musgrave (1991), relacionam a intensa atividade dos diazotróficos a presença de fungos celulolíticos e lignolíticos, capazes de despolimerizar açúcares e ácidos fenólicos contidos no resíduo, necessários ao suporte das bactérias.

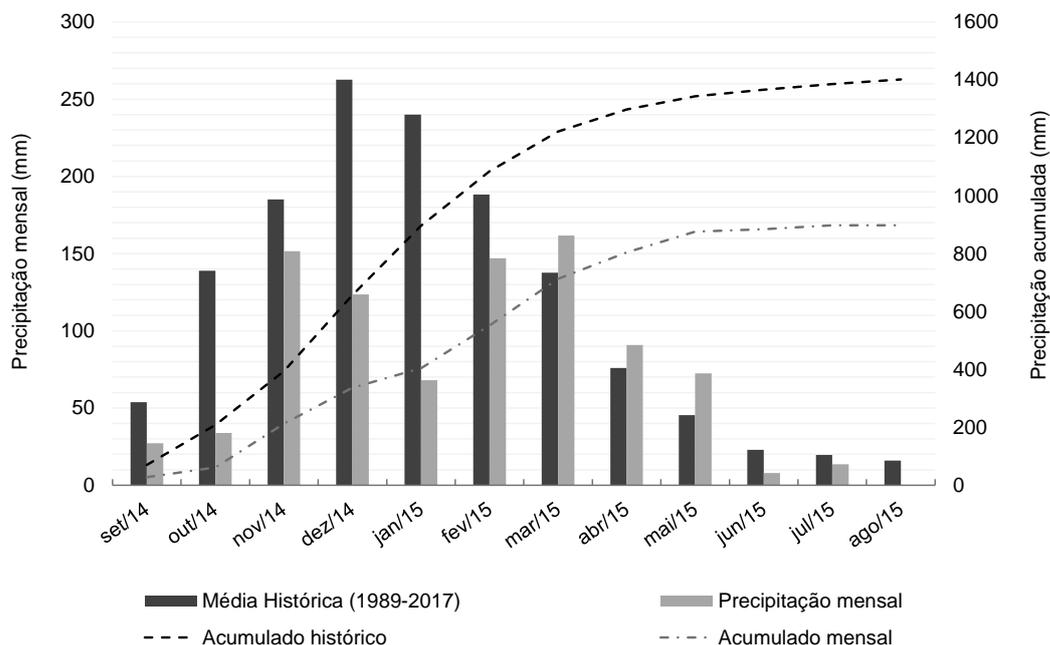
Neste caso, além do N fixado no resíduo que pode chegar a parcelas de 10-20 kg de N ha⁻¹ (PATRIQUIN, 1982), existe a possibilidade de que o N adicional fixado ao longo do crescimento das plantas, poderia ser transferido ao solo através do resíduo (LINCOLN; VITOUSEK, 2016), e causar modificações no processo de decomposição, acelerando as entradas de C e N no solo. Porém, é necessário elucidar tal efeito, por meio de avaliações com volumes distintos de material distribuído em campo sujeitos a esta condição, conforme proposta original.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição e condução da área experimental

O estudo foi parte componente do projeto “Qualicana”, financiado pela Embrapa. Sua condução ocorreu em talhão de primeira soca (setembro de 2014 e agosto de 2015) da variedade IACSP 95-5000 após cana-planta implantada em plantio direto. A área de instalação é de cultivo tradicional com cana-de-açúcar sem queima e se localiza na Fazenda Antas, pertencente à Usina Açucareira Guaíra, no município de Guaíra-SP, sob as coordenadas 20°30'30” S de latitude, 48°11'18 W de longitude e altitude de 530 m. O clima local é do tipo tropical úmido, segundo Köppen-Geiger, (1928). A precipitação total do período foi de 897,6 mm, com médias mensais e históricas descritas na Figura 1.

Figura 1 - Dados médios de precipitação mensal e acumulado histórico (1989-2017) e durante o período experimental



O solo do local é o Latossolo Vermelho Acriférico (SANTOS et al., 2006) de textura argilosa (643 g kg^{-1} de argila e 154 g kg^{-1} de areia), cujas características químicas iniciais encontram-se na Tabela 1. Esta classe de solo associada às condições climáticas permitiu a classificação em ambiente de produção do tipo C, cujo potencial de rendimento de colmos de cana-de-açúcar encontra-se entre 85 e $90 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (BENEDINI; BERTOLANI, 2008).

Tabela 1 - Características químicas do solo analisada em duas profundidades para a safra 2014/2015

Prof (m)	pH	MO -----g kg ⁻¹ ----	COT	P _{resina} mg dm ⁻³	K _{resina} -----mmol _c dm ⁻³ -----	Ca	Mg	H+Al	SB	V %
0,0-0,2	5,3	29,0	17,0	25,2	4,1	41,0	12,0	31,0	57,5	64,7
0,2-0,4	5,3	25,4	14,7	16,6	2,8	34,0	9,6	30,0	46,5	60,0

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com tratamentos em esquema fatorial 3×2 , sendo três níveis de recolhimento de palha (36, 64 e 100%) e duas técnicas de cobertura, a primeira consolidada, via adubação mineral com nitrato de amônio-NA, e a segunda, pouco explorada, incluída via inoculação foliar com bactérias fixadoras de nitrogênio – FBN), em quatro repetições. Também se adicionou o fator tempo (6 coletas), como parcela subdividida, para fins

de avaliação da dinâmica da decomposição da palha.

As parcelas foram compostas por 14 linhas de cana-de-açúcar com 20 m de comprimento e espaçamento entre sulcos de 1,5 m, o que resultou em uma área total de 420 m². Excluiu-se uma linha de cada extremidade da parcela e 1 metro de comprimento como bordadura, totalizando 342 m² como área útil.

A distribuição da palha para obtenção dos níveis de interesse em cada parcela foi realizada 13 dias após a colheita da cana planta (28/08/2014), procedendo-se a retirada da palha por proporcionalidade (de 11 entrelinhas foram retiradas 4 para se obter a quantidade de 4.300 kg ha⁻¹; 7 entelinhas para 7.400 kg ha⁻¹ e a manutenção integral de palha na parcela para 11.500 kg ha⁻¹). Após a remoção, o restante da palha foi redistribuído até a homogeneização da parcela a fim de receber os *litterbags* ou sacos de decomposição (Figura 2).

Figura 2 - *Litterbag* ou saco de decomposição instalado em campo, simulando a quantidade real de 100% de palha sobre o solo



A palha utilizada para o preenchimento dos sacos foi coletada de área adjacente ao experimento, no momento da colheita, com a finalidade de manter a qualidade inicial. Cerca de 20 sacos plásticos de 20 L de material foram transportados até sala de processamento de amostras da Embrapa Meio Ambiente, onde foram secos à sombra, homogeneizados e armazenados. A palha foi caracterizada quimicamente, revelando os resultados médios em base seca de 4,547 g kg⁻¹ de N, 450,39 g kg⁻¹ de C, C: N 96, 443 g kg⁻¹ de celulose, 320 g kg⁻¹ de hemicelulose e 88 g kg⁻¹ de lignina.

A instalação foi realizada em 09/09/2017 depositando em cada parcela uma duplicata de litterbags (Figura 3) a ser retirada em cada coleta. A distribuição dos sacos ocorreu no sentido das linhas 5 e 6 da parcela, atingindo até a metade da entrelinha (Figura 3) e costurados em três partes. Para fixação foram utilizados grampos confeccionados com arame, colocados em duas de suas laterais.

Figura 3 - Visão da parcela durante fixação e após distribuição dos litterbags referente ao tratamento com 100% de palha



A aplicação do nitrato de amônio (33% de N) foi distribuída em 31/10/2014 com adubadora de 4 linhas, na dose de 120 kg ha^{-1} de N, sem incorporação e o inoculante enriquecido com bactérias diazotróficas foi pulverizado sobre as plantas em 25/11/2014. Vale ressaltar que a aplicação de ambas as técnicas já havia sido realizada no primeiro ciclo de produção (cana-planta) obedecendo as diferenças entre datas de aplicação de cada fonte. Neste caso, a aplicação do fertilizante mineral coincide com o estágio de perfilhamento – início do período de maior demanda de N pela cultura (ROSSETTO et al., 2013) e para a inoculação condiz com o estabelecimento do sistema radicular, principal porta de entrada das bactérias em gramíneas (BALDANI et al., 2009).

O produto inoculante possuía cinco estirpes de bactérias, combinando uma do tipo associativa (BR11145 *Azospirillum amazonense*) e as demais endofíticas (BR11135 *Herbaspirillum seropedicae*; BR11504 *H. rubrisubalbicans*; BR11281T *Gluconacetobacter diazotrophicus*, BR11366T *Burkholderia tropica*). Todas com funções de fixação biológica de N e síntese de fitormônios (REIS et al., 2009). Cabe destacar que a confecção do inoculante ocorreu na Embrapa Agrobiologia, sendo cada estirpe confeccionada separadamente, em sacos de polipropileno de 250g com gramatura de aproximadamente 0,05 mm (Figura 4), onde 175 g era de veículo (turfa

estéril com pH final 6,0) e 75 g de suspensão bacteriana com população de 10^9 célula mL^{-1} (SCHULTZ, 2012).

Figura 4 - Inoculante específico para cana-de-açúcar composto separadamente por cinco estirpes bacterianas (BR11145 *Azospirillum amazonense*; BR1135 *Herbaspirillum seropedicae*; BR11504 *H. rubrisubalbicans*; BR11281T *Gluconacetobacter diazotrophicus*, BR11366T *Burkholderia tropica*)



No momento da pulverização a dose do inoculante aplicado reuniu as cinco estirpes (1250g), diluídas inicialmente em 32 L de água limpa, sendo 4 L transferidos para o tanque do pulverizador costal (capacidade 12 L) e acrescido mais 5 L de água limpa, reunindo o volume suficiente para a área útil de uma parcela. O jato da calda foi direcionado as folhas da soqueira em condição local de temperatura a $32,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ e umidade acima de 85%. Como a operação se repetiu por 12 vezes, cerca de 108 L de calda foram gastos a uma relação de 17 g de produto por litro de água consumido, para um consumo total de 263 L ha^{-1} .

Os demais tratos culturais (aplicação de herbicida e controle biológico de broca) seguiram a rotina da fazenda, enfatizando-se que não houve aplicação de vinhaça, de torta de filtro e de irrigação.

3.2 Avaliações

3.2.1 Decomposição da palha em sistema de recolhimento variável

A determinação da decomposição da palha ao longo do tempo foi avaliada quantitativa (biomassa remanescente) e qualitativamente (carbono, nitrogênio, celulose, hemicelulose e lignina). Para isto seguiu-se a metodologia de “*litterbags*”

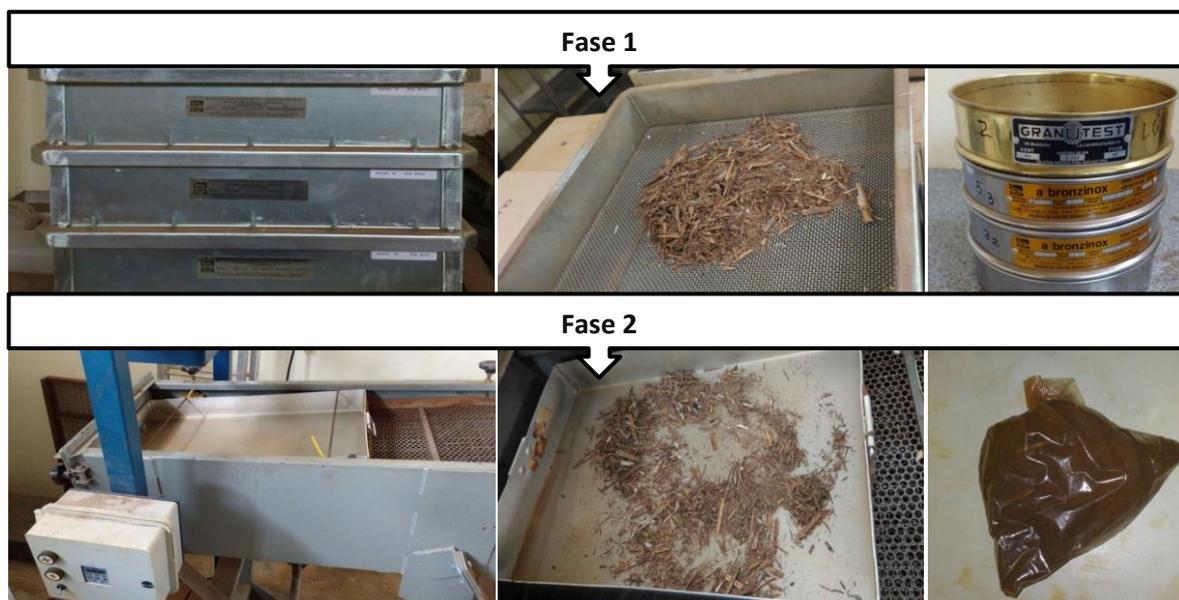
proposta por Bocok e Gilbert (1957), cujo método consiste em avaliar de forma direta a decomposição do resíduo, por coletas sequenciais, ao longo de um intervalo de tempo, usando sacos telados preenchidos com o resíduo a ser estudado.

No presente trabalho os sacos foram confeccionados em polímero mineral e preparados na dimensão de 0,7m x 0,50m, e malha de 15 mm (FORTES, 2010), para oferecer melhor circulação de água, oxigênio, nutrientes e acesso da comunidade decompositora no sistema solo-palha. Após a confecção, cada saco foi preenchido com as quantidades de palha correspondente a 150, 260 e 400 g, que representaram as quantidades de 4.300; 7.400 e 11.500 kg ha⁻¹ de palha mantida em campo após a colheita.

A decomposição foi acompanhada durante 319 dias, divididos em 6 coletas regulares (0, 101, 180, 235, 285 e 319 dias), o que totalizou 240 sacos até o final do experimento. Os sacos coletados foram armazenados em embalagens de campo, para evitar contaminação e perda de amostra, até serem transportado à sala de limpeza e processamento da Embrapa Meio Ambiente.

A etapa inicial de limpeza da palha foi dividida em duas fases: i. eliminar manualmente materiais maiores (pedras, torrões, grânulos de adubos, grampos de fixação) com auxílio de peneiras (3, 2 e 1 mm) e ii. separar o solo remanescente, intimamente aderido a palha, por meio de uma combinação entre o acionamento da mesa classificadora de grãos, exclusivamente adaptada e um segundo conjunto de peneiras. A máquina operava em duas rotações específicas (1670 e 1550 rpm) (Figura 5).

Figura 5 - Operação para limpeza da palha de cana-de-açúcar



As amostras devidamente limpas seguiram para secagem em estufa de ventilação forçada à 50 °C até atingir peso constante e pesagem em balança de duas casas decimais, de onde foi possível determinar a variável massa seca de palha (g). O peso final foi utilizado para o cálculo da biomassa remanescente seguindo a fórmula $M_{\text{remanesc}} = M_{\text{remanesc}} \cdot 100 / M_{\text{inicial}}$ (em kg ha⁻¹), e as diferenças de massa detectadas ao longo do tempo em relação a quantidade inicial de palha, permitiram o acompanhamento da taxa de decomposição do material $\{T_{X_{\text{decomp}}} = 100 - (M_{\text{remanesc}} \cdot 100 / M_{\text{inicial}})\}$. Pela variável meia-vida ($T^{1/2}$) foi possível determinar o período necessário (dias) para que metade da massa seca palha se decomponha, conforme equação $T^{1/2} = 0,693 / k$, Sendo: $T^{1/2}$ = tempo necessário para que 50% da massa de palha seja decomposta (dias); 0,693 valor constante e k é a constante de decomposição (g dia⁻¹).

Após a quantificação da massa seca de palha, as amostras seguiram para processamento a fim de se determinar as composições químicas e estruturais durante a decomposição. Para isto, as amostras de palha foram processadas em moinho tipo willey com peneira de 1 mm, onde uma parte das amostras seguiu para a determinação elementar de C e N e parte seguiu para determinação do teor de cinzas.

Os teores de C e N foram determinados para 0,2g de amostras após permanecerem em estufa (40°C) por 24h e analisado pelo método de combustão por via seca (Método de Dumas) no equipamento TruSpec CN LECO®, enquanto o teor

de cinza foi determinado pelo processo de calcinação de 1g de amostra exposta à temperatura de 700°C por 3 horas. O restante do material foi arquivado, caso houvesse resultados incompatíveis.

Os teores destes elementos foram multiplicados pelas suas respectivas massas a fim de se obter as variáveis quantidade de C e N remanescentes (kg ha^{-1}) ao longo do tempo. Com isso foi possível também determinar a variável relação C: N, calculada usando-se o teor de carbono (%) pelo teor de nitrogênio (%).

As variáveis carboidrato estrutural (hemicelulose e celulose) e lignina foram realizadas no Laboratório de Nutrição Animal (LANA) pertencente ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), usando os métodos da Associação de Químicos Analíticos Oficiais (AOAC, 2011). A análise foi subdividida em fibra em detergente neutro (FDN) (ID 973.18), fibra em detergente ácido (FDA) (ID 2002.04), e lignina (ID 973.18), utilizando saquinhos de TNT de trama fina. A solução em detergente neutro foi usada para dissolver substâncias facilmente digeridas, como o conteúdo celular, deixando como resíduo a parte não solubilizada, composta pelos componentes da parede celular (celulose, hemicelulose e lignina). O material retido nos saquinhos passou por filtragem, lavagem tripla com água destilada e secagem à 105°C em estufa com circulação de ar forçada de um dia para o outro. O resfriamento do material foi realizado em dessecador a vácuo e encaminhado a segunda etapa que expôs as amostras ao detergente ácido. Nesta fase, a hemicelulose foi solubilizada e no material remanescente se encontraram os componentes insolúveis, celulose e lignina. A fração resultante da fibra em detergente ácido passou novamente pela sequência filtragem, lavagem e armazenamento de amostras em estufa, para então, ser tratada com solução final de ácido sulfúrico a 72%.

O ácido sulfúrico serviu para solubilizar a celulose do material, no qual por diferença de peso foi possível obter o teor de lignina da amostra. Já a celulose digerida foi dada pela diferença (FDA-lignina), e hemicelulose (FDN-FDA).

Os dados foram calculados a partir da massa seca de palha de cana-de-açúcar descontada pelo teor de cinzas, que é realizado para eliminar a contaminação do material vegetal por solo.

Os resultados finais das taxas (%) de massa, carbono, celulose e hemicelulose e relação C: N foram submetidos a análise de variância e regressão (SISVAR 5.6), e o mesmo foi aplicado aos resultados remanescentes (kg ha^{-1}), porém estes foram ajustados a equação $Y_{\text{final}} = Y_{\text{inicial}} \cdot \exp(-k \cdot \text{tempo})$, segundo o modelo exponencial de

Thomas e Asakawa (1993), utilizando o software STATISTICA 7.0.

Definições: Y_{final} é a quantidade de massa seca remanescente (kg ha^{-1}) no tempo t (dias); $Y_{inicial}$ é a fração de massa seca decomponível quando t é igual a zero e k é a constante de decomposição do resíduo.

Após submeter os dados a análise de variância (SISVAR 5.6) e comparação entre médias por Tukey ($p < 0,05$), foram estudados diferentes modelos matemáticos para representar os resultados de lignina e nitrogênio remanescentes.

3.2.2 Enriquecimento da camada superficial do solo

O enriquecimento superficial do solo foi determinado pelos teores (g kg^{-1}) de carbono e nitrogênio na camada 0-5 cm do solo, na pré-colheita da cana-de-açúcar. Para isto, foram retiradas amostras de solo (16/07/2015) em período concomitante à retirada dos litterbags em campo. Cada amostra foi retirada logo abaixo de cada saco de decomposição, com o auxílio de trado para coleta de amostra indeformada, usando-se anéis volumétricos, dispostos em triplicata, para cada repetição, totalizando 24 amostras para FBN e 24 amostras para comercial.

Também foram coletadas amostras de solo na camada 0-10 cm do solo, usando trado de coleta de amostra indeformada. Para isto, foram coletadas também na pré-colheita, amostras em duas posições, sendo uma próxima à linha (10 cm da touceira) e outra na entrelinha (75 cm) da cana-de-açúcar. Para cada posição foram coletadas três amostras simples, que compuseram uma composta por parcela, totalizando 48 amostras.

As amostras de solo seguiram para processamento após serem destorroadas e secas à sombra durante 7 dias. O material foi homogeneizado e particionado em 4 coletando-se uma fração aleatória (40g) com cachimbos de 2,5ml e moído manualmente em almofariz de porcelana, após passar em peneira (2mm). As amostras processadas foram encaminhadas a um conjunto de esteiras rotativas, onde permaneceram de um dia para o outro.

O processo continuou com a passagem das amostras por uma segunda peneira (0,15mm) para depois armazená-las em frascos de vidros devidamente identificados. Posteriormente, foram secas em estufa a 40° C até seguir para a determinação elementar de C e N pelo método de combustão por via seca (Método de Dumas).

Os valores foram expressos em porcentagem por unidade em massa e multiplicados por 10 até se obter teores em g kg^{-1} .

Com as determinações dos teores destes elementos, confrontadas com as respectivas quantidades mineralizadas a partir da biomassa da palha foi possível verificar o enriquecimento ou empobrecimento da camada inicial do solo com C e N.

Os resultados foram submetidos à análise de variância utilizando o pacote estatístico SISVAR versão 5.6 e quando detectadas diferenças significativas, as médias foram comparadas por Tukey ($p < 0,05$).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

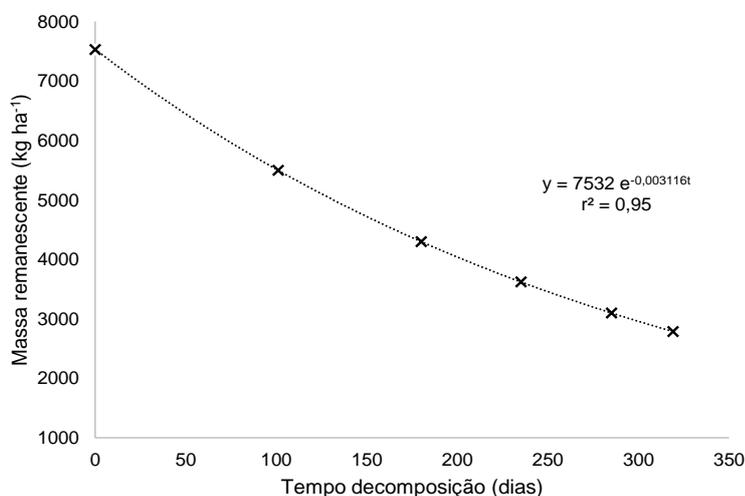
4.1 Massa seca e carbono remanescente

O decaimento da biomassa e do carbono da palha de cana-de-açúcar, variedade IACSP 95-5000, na safra 2014-2015, ajustou-se significativamente pela equação de cinética de primeira ordem, independentemente do nível de palha estudado e das técnicas usadas em cobertura (Figura 6). Este comportamento concorda com a proposta de Thomas e Asakawa (1993) de representar o processo de decomposição de vários resíduos vegetais por esta equação exponencial, devido a ocorrência de uma primeira fase acelerada, onde são liberados compostos mais facilmente decomponíveis e uma segunda fase lenta e constante, com liberação de compostos recalcitrantes (COTRUFO et al., 2009).

Não houve diferença significativa da constante de decomposição da biomassa e do carbono remanescentes, em função da interação entre níveis de palha e nitrato de amônio-COM e inoculante-FBN como práticas de cobertura, nem mesmo para estes fatores analisados individualmente (Figura 6 e 8).

O valor médio de k para a biomassa foi de 0,003116, se encontra próximo aos valores de Ramos et al. (2015) e Yamaguchi (2015), estudando decomposição de palha em sistemas de produção de cana-de-açúcar no estado de São Paulo, em quantidades que variaram de 2000 a 21500 kg ha⁻¹, e por Potrich (2012), avaliando a dinâmica após aplicação de fonte mineral (ureia).

Figura 6 - Massa seca remanescente de três quantidades de palha (4300, 7400 e 11500 kg ha⁻¹) mantidas no solo e duas técnicas de cobertura, sendo nitrato de amônio-COM e inoculante-FBN durante a primeira soca da variedade IACSP 95-5000, no município de Guaira, safra 2014-2015



Tais resultados provavelmente podem estar relacionados às modificações provocadas pela manutenção de quantidades distintas de palha na área. Isto se deve ao fato, de que os maiores níveis de palha em superfície podem ter promovido a manutenção da umidade do solo e minimizado o aquecimento excessivo das camadas superficiais, construindo um ambiente agradável aos decompositores atuarem nos tratamentos com 7400 e 11500 kg ha⁻¹. Já no tratamento com 4300 kg ha⁻¹ de palha, os ciclos oscilatórios de molhamento e/ou secagem do solo e amplitude térmica no tratamento são maiores, variáveis estas, que desencadeiam estresse aos microrganismos (FIERER; SCHIMEL, 2002), e que podem ter provocado uma redução da decomposição da palha nesta condição.

A similaridade entre k (Figura 6), mesmo com uma diferença de massa duas vezes superior entre o maior e o menor nível de palha, também foi observada por Dietrich (2014), que trabalhou com 4.000, 8.000 e 12.000 kg ha⁻¹ de palha, em cinco ambientes produtores de cana no estado do Rio Grande do Sul. Entretanto, diverge de outros trabalhos que afirmam haver diferenças na decomposição em função do recolhimento parcial (AQUINO; MEDINA, 2012; BENEDETTI, 2014; MORAES et al., 2014; YAMAGUCHI, 2015; STANCATTE et al., 2015; RAMOS et al., 2015).

Como a decomposição resulta na mudança de estado da palha associado a vários fatores e não apenas temperatura e umidade, é possível que na condição com menos palha a decomposição tenha sido suportada mais precisamente pelo maior

contato deste resíduo com o solo (SANTANA et al., 2011) e pela aeração (HOLTZ, 1995; JENSEN et al., 2005), já que maiores quantidades de palha sobre o solo podem sofrer uma compactação natural após sua acomodação. Além disso, a variabilidade térmica neste tratamento pode ter selecionado microrganismos adaptados a esta condição, garantindo a manutenção da atividade e funcionamento do ecossistema.

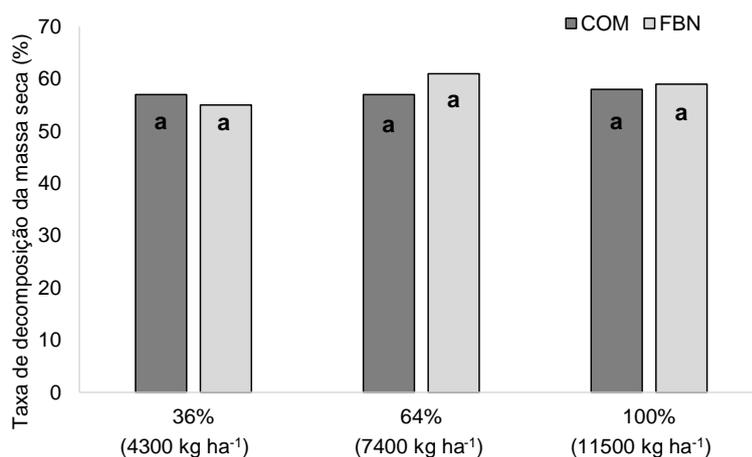
Estas informações poderiam explicar a falta de consenso na literatura a respeito do comportamento da decomposição quando se observam diferenças para os níveis de palha. Enquanto autores como Aquino & Medina (2012); Moraes et al. (2014); Yamaguchi (2015) e Stancatte et al. (2015), confirmam que maiores quantidades de palha se decompõem a uma velocidade superior, ainda existem relatos de que a decomposição é acelerada quando se mantem menores quantidades de palha, como anunciado por Benedetti (2014) e Ramos et al. (2015). O primeiro autor verificou que a decomposição de 9.000 kg ha^{-1} ($0,011$) foi mais acelerada em relação à 18 e $28.000 \text{ kg ha}^{-1}$, com $0,008$, já o segundo, o decaimento de 27% de palha (5.900 kg ha^{-1} ($k=0,003438$)) se destacou em relação aos maiores volumes (14.800 e $21.000 \text{ kg ha}^{-1}$) que apresentaram $k = 0,002703$ e $0,002970$, respectivamente.

A respeito das técnicas de cobertura esperava-se que a adubação mineral acelerasse o decaimento da biomassa, sob a premissa de ser uma fonte extra de N prontamente disponível ao sistema, minimizando a competição entre planta e microorganismos do solo, o que modificaria o desempenho dos decompositores. Enquanto, o inoculante, por se tratar de um produto à base de estirpes distintas, com ação esperada sobre a planta e não na palha, poderia ter sua eficácia comprometida em situação de campo, pois reagiria aos fatores externos, especialmente as condições edafoclimáticas (SCHULTZ et al., 2016), ao estado nutricional e idade da planta (POLIDORO, 2001; FUENTES-RAMIREZ et al., 1993) sem efeito no solo. Entretanto, estas possibilidades não se comprovaram uma vez que não se verificou diferenças na intensidade de decaimento da palha (Figura 6).

Não há na literatura relatos sobre decomposição de palha usando inoculante FBN para suprir o nitrogênio de cobertura. Existem apenas trabalhos, onde se compara o fertilizante mineral à uma testemunha sem aplicação, que poderia representar o inoculante. Como exemplo, Vitti et al. (2008) avaliaram o efeito de doses de N (40 , 80 e 120 kg ha^{-1}) sobre a decomposição de resíduos de cana-de-açúcar e verificaram maior queda na biomassa nos tratamentos adubados com N, em relação à testemunha sem adubação, o mesmo foi confirmado por Potrich (2012).

O processo de decomposição também foi representado pela taxa de decomposição que indica a porcentagem de perda de biomassa da palha, a partir de uma massa inicial conhecida. Com isto se compreende a contribuição final do resíduo para o sistema produtivo conflitando os resultados com as mudanças do material e fatores ambientais. No presente estudo a taxa final de decomposição teve média de 58%, uma vez que não se observou diferença significativa entre as quantidades de palha estudadas ou nitrato de amônio-COM e inoculante-FBN aplicados em cobertura (Figura 7).

Figura 7 - Taxa de decomposição da biomassa seca (%) de três quantidades de palha (4300, 7400 e 11500 kg ha⁻¹) mantidas no solo e duas técnicas de cobertura, sendo nitrato de amônio-COM e inoculante-FBN, durante a primeira soca da variedade IACSP 95-5000, no município de Guaira, safra 2014-2015. Letras iguais entre tratamentos indicam médias não significativas pelo teste de Tukey (p < 0,05)



Um dos indicativos para que o processo de decomposição tenha sido semelhante entre os fatores de interesse pode estar relacionado ao período de precipitação mais elevada na fase inicial do experimento, concentrando boa parte do volume de chuvas acumulada (Figura 1). Robertson e Thorburn (2007) ressaltaram a correlação positiva entre a intensidade de chuvas e decomposição da biomassa da cana, enquanto Fortes et al (2012) e Benedetti (2014), atribuíram os resultados de perda de massa, não somente às condições climáticas favoráveis, mas também à queda acentuada de açúcares e proteínas presentes nesta biomassa que se decompõem mais rapidamente que outros compostos, como a lignina (Oliveira et al.1999).

Assim, a umidade inicial do período pode ter sido fundamental para elevar o conteúdo de água no solo, permitindo a motilidade dos microrganismos presentes

(CHOWDHURRY et al., 2011) além de estimular o desempenho da comunidade decompositora, pois a palha por si só tende a reduzir a perda de água por evaporação (PERES et al., 2010) minimizar o aquecimento excessivo das camadas superficiais (TIMM, 2002; MENANDRO, 2016), e servir como substrato energético aos microorganismos do solo (PULROLNIK, 2009), criando um ambiente menos adverso aos microrganismos (FIERER; SCHIMEL, 2002). Esta condição pode ter facilitado a atuação de algumas comunidades microbianas sobre o material independente da massa de palha que entrou no sistema ou técnica de cobertura aplicada.

O período inicial de chuvas mais intensas também pode ter contribuído para que o fertilizante mineral, aplicado após 50 dias da instalação, reagisse satisfatoriamente no solo. O mesmo se aplica ao inoculante, sendo possível que o período úmido tenha favorecido a motilidade das bactérias diazotróficas até o seu estabelecimento no tecido vegetal, não só nas raízes, mas também na palha. Assim, há também possibilidade de ter ocorrido a seleção dos microorganismos decompositores mais aptos para cada fonte nitrogenada, pois em áreas com palha de cana foi verificado tanto a presença de fungos decompositores como *Aspergillus*, *Trichoderma* e *Penicillium*, quanto bactérias como *Zymomonas* e *Cellulomonas* (FORTES et al., 2012).

Vitousek (2004), descreve que uma consequência importante do aumento da entrada de nutrientes nos ecossistemas terrestres está associada a mudanças no seu funcionamento como um todo, e para Vitousek e Howarth (1991), a biomassa de fungos e bactérias e/ou a composição da comunidade microbiana sofre uma mudança pela deposição contínua de nutrientes. Seguindo essa informação, Paungfoo-Lonhienne et al. (2015), verificou que a concentração de fertilizante nitrogenado modifica a composição dos fungos em solo e rizosfera de cana-de-açúcar, provavelmente devido a modificações no sistema. Por outro lado, em sistema ausente de adubação, Hill e Patriquin (1990) descrevem que as espécies *Fusarium* e *Penicillium* são comumente encontradas em palha de cana, e que para Silvester e Musgrave (1991) os fungos no interior da palha atuam como facilitadores ao acesso desse substrato para o suporte das bactérias diazotróficas, conforme constatado no estudo de Wong et al (1980).

Estas informações podem indicar que em ambos os tratamentos o resíduo esteja sendo decomposto ativamente, porém com populações distintas trabalhando dinamicamente em sítios específicos.

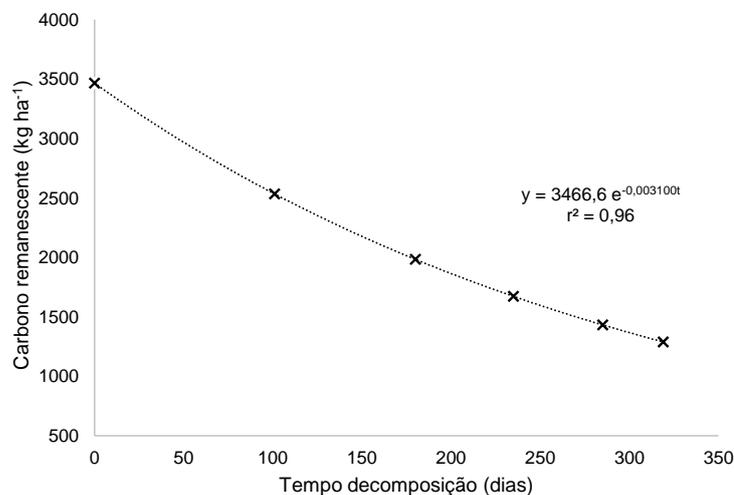
Como não há relatos envolvendo essas populações de microrganismos decompositores em função da fonte nitrogenada, se identifica uma importante linha de pesquisa a ser desenvolvida.

A taxa final média de queda da biomassa, de 58%, encontra-se próxima à observada em outros experimentos conduzidos em sistema de recolhimento variável para o estado de São Paulo, onde, normalmente, ao final de uma safra agrícola se nota a redução de massa seca entre 40 a 65% (FARONI et al., 2003; FORTES, 2010; RAMOS et al., 2014; MORAES et al., 2014; SOUZA JUNIOR, 2015). Assim, considerando que uma soca pode ocupar em média 320 a 370 dias, não se verifica a disponibilização de toda a biomassa em um único ciclo, e em média mais de 40% da massa seca permanece no sistema, independente do que foi acrescido no início. Sob o ponto de vista agrícola, o remanescente de palha serviria como uma interessante estratégia em campo até que um novo ciclo de produção se estabeleça. A conservação do solo, água e redução de plantas involuntárias são vantagens oferecidas com a manutenção da cobertura, beneficiando assim, canaviais localizados em regiões com altas temperaturas e precipitações irregulares e/ou em demasia.

Além do acompanhamento da biomassa, também se estudou a decomposição pelo decaimento do carbono (Figura 8). Houve comportamento exponencial semelhante ao da biomassa, inclusive sem diferenças significativas pela interação entre as quantidades de palha e técnicas de cobertura (nitrito de amônio-COM e inoculante-FBN), tanto para o coeficiente k que teve média 0,003100 (Figura 8), como para a meia vida (225 dias) e para a taxa final de mineralização, com média 58% (Figura 9).

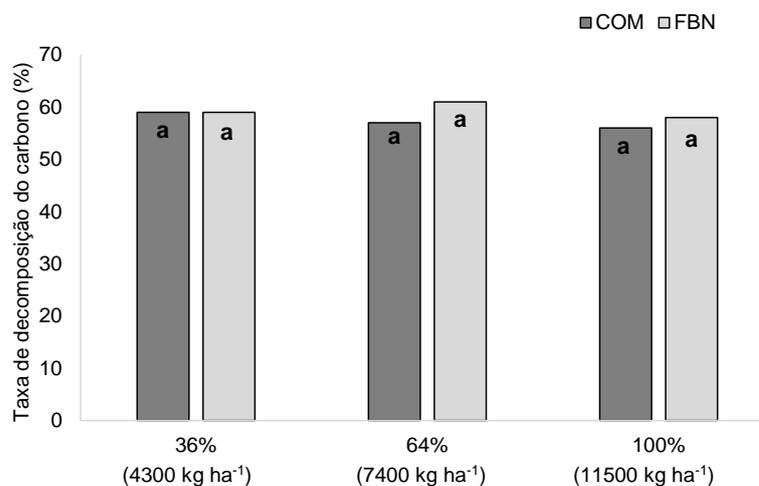
Os resultados da constante estão próximos aos de Souza Junior (2015), Benedetti (2012) e Dietrich (2012), que observaram valores de k para carbono na ordem de 0,0012 a 0,0046 g dia^{-1} e meia vida entre 58 a 231 dias, para quantidades variando de 3500 a 28000 kg ha^{-1} de palha.

Figura 8 - Carbono remanescente de três quantidades de palha (4300, 7400 e 11500 kg ha⁻¹) mantidas no solo e duas técnicas de cobertura, sendo nitrato de amônio-COM e inoculante-FBN durante a primeira soca da variedade IACSP 95-5000, no município de Guaira, safra 2014-2015



Quanto a taxa de mineralização (Figura 9), a mesma se encontra próxima à observada por Souza Junior (2015), que ao contrário de Yamaguchi (2015), não verificaram relação das quantidades de palha aportadas sobre a velocidade de mineralização do C, assim como observado no presente estudo.

Figura 9 - Taxa de decomposição do carbono de três quantidades de palha (4300, 7400 e 11500 kg ha⁻¹) mantidas no solo e duas técnicas de cobertura, sendo nitrato de amônio-COM e inoculante-FBN durante a primeira soca da variedade IACSP 95-5000, no município de Guaira, safra 2014-2015. Letras iguais entre tratamentos indicam médias não significativas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)



Faroni et al. (2003), trabalhando com 15900 kg ha⁻¹ de palha (6190 kg ha⁻¹ de C em), constataram decréscimo de 61% do carbono durante uma safra agrícola. Enquanto Dietrich (2014), ao final de 360 dias, observou que a média de decréscimo do carbono para três quantidades de palha (4.000, 8.000 e 12.000 kg ha⁻¹) variou de 58 a 70% para cinco localidades do Rio Grande do Sul. Taxas elevadas também foram observadas por Yamaguchi (2015), que avaliando o comportamento de decomposição de uma mesma palha por duas socas consecutivas, verificou que a perda de carbono, durante a primeira safra (281 dias) foi de 70%, seguindo para o acumulado de 95% ao final da segunda safra, referente a 632 dias.

O resultado revela que a mineralização do C está intimamente conectada a decomposição da massa seca do material vegetal e o fato é comprovado pela similaridade entre a constante k e meia vida média para biomassa (0,00311 e 224 dias) e carbono (0,003100 e 225 dias), que acaba sendo refletido sobre as taxas finais de decomposição destes componentes. Também indica que as contribuições em termos de carbono que a palha pode trazer para o sistema produtivo da cana-de-açúcar só é percebida em médio-longo prazo, ou seja, após mais de uma safra.

Assim, o comportamento análogo observado entre os fatores tanto para a dinâmica (Figura 8) quanto para a taxa (Figura 9) pode revelar a mineralização de frações de C mais facilmente decomponíveis na fase inicial, como o carbono orgânico dissolvido ou solúvel em água (CSA) (SWIFT et al., 1979) em que não atuam propriamente os decompositores. De acordo com Liang et al. (1998), esta fração corresponde a compostos de cadeia aberta, que são prontamente disponíveis à biomassa microbiana do solo, e que inclusive, alimentam os diazotróficos (RHOPER; LADHA, 1995) e servem como fonte energética para os demais microrganismos (PULROLNIK, 2009). Por outro lado, Robertson & Thorburn (2007) e Pulrolnik (2009) salientam que, a dinâmica e a eficiência de atuação da comunidade sobre o resíduo, são reguladas principalmente por uma condição ideal de aeração, umidade, temperatura, pH e status nutricional do solo. O mesmo é descrito por Rhoper e Ladha (1995) sobre a eficiência dos diazotróficos no resíduo, o que deve ter sido garantido para todos os tratamentos durante os 180 dias, reunindo chuvas (Figura 1), composição bioquímica inicial da palha em campo e a característica química do solo (Tabela 1).

Assim, mesmo que o comportamento da decomposição não se altere, as quantidades de biomassa e carbono aportadas tendem a influenciar a ciclagem de

nutrientes, e por isso não podem ser interpretadas da mesma forma. Como o C compõe em média de 39 a 45% da palha de cana-de-açúcar (OLIVEIRA et al., 2002; NG KEE KWONG et al., 1987; ROBERTSON; THORBURN, 2007), ao final do experimento, o maior nível ($11.500 \text{ kg ha}^{-1}$) mantém depositado $4787,8 \text{ kg ha}^{-1}$ de palha, que em termos de C significa $2222,6 \text{ kg ha}^{-1}$ deste elemento em campo, isto é, a quantidade supera o valor da massa inicial do tratamento 36% (4300 kg ha^{-1} de palha e $793,7 \text{ kg ha}^{-1}$ de carbono), e tende a influenciar as perspectivas agrícola e industrial. Neste caso, o remanescente de palha em campo indicaria a possibilidade de recolhimento de material, mas em termos ambientais, poderia acarretar em médio e longo prazo o empobrecimento do solo e reflexos diretos sobre a capacidade produtiva do canavial. Por isto, é necessário revisar cautelosamente o efeito do recolhimento para cada unidade canavieira anualmente e o impacto ou não gerado sobre sua retirada, a partir de informações concretas sobre estado do sistema solo-planta aliada a climatologia e ao monitoramento de pragas e doenças.

Os resultados de decomposição podem estar atribuídos também, em grande parte, à qualidade do material, geralmente quanto a relação C: N e proporções entre celulose, hemiceluloses, lignina e polifenóis no tecido (COTRUFO et al., 2009; ZHANG et al., 2008; THOMAS; ASAKAWA, 1993). Assim, as mudanças nestes componentes em função dos níveis de palha e das técnicas serão descritas a seguir.

4.2 Carboidratos estruturais e lignina remanescentes

Os carboidratos estruturais (celulose e hemicelulose) e lignina representaram 84% da matéria seca inicial caracterizada quimicamente, sendo 44% de celulose, 32% de celulose e 8% de lignina. Estes valores estão em consonância com os teores normalmente identificados para palha de variedades de cana-de-açúcar (FORTES et al., 2012; SANTOS et al., 2012).

O processo de decomposição da celulose da palha da variedade IACSP 95-5000 ao longo da safra 2014-2015, foi ajustado e representado significativamente pelo modelo matemático de cinética de primeira ordem (Figura 10). Assim, como para a biomassa este ajuste exponencial, proposto por Thomas e Asakawa (1993), também representa bem o comportamento da celulose.

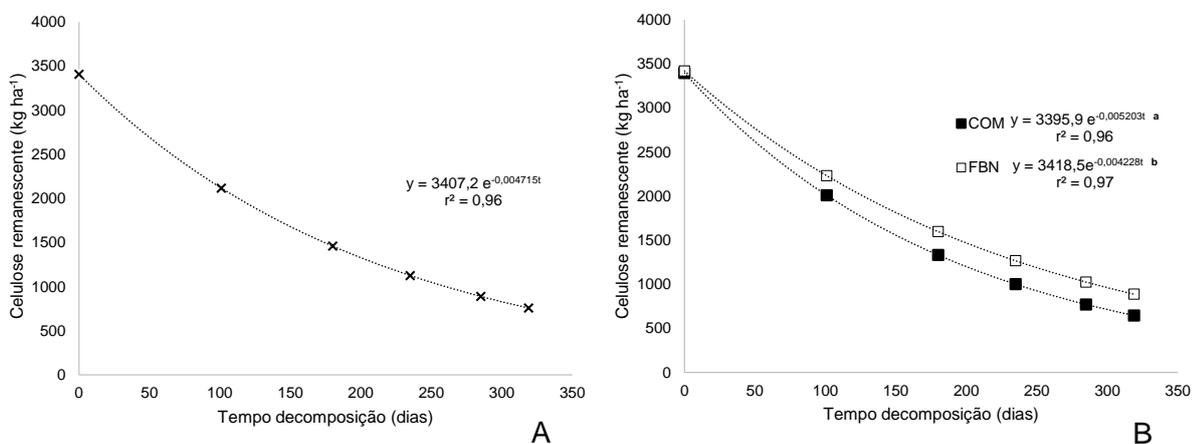
Não houve diferença significativa da constante de decomposição em função da interação entre níveis de palha e das duas técnicas aplicadas em cobertura. Por outro

lado, o componente foi alterado após análise individual dos fatores, sendo verificado comportamento significativo e superior com a aplicação do nitrato de amônio-COM em cobertura, e ausência de efeito independente da quantidade de palha inicial aportada em campo (Figura 10A e B).

A constante média de decomposição da celulose foi de $0,004715$, sendo esta diferença 33% maior que o k do carbono e biomassa (Figuras 7 e 6), confirmando que este é o componente mineralizado mais rapidamente no processo de decomposição da palha. O resultado se confirma pela meia vida da celulose (150 dias), cerca de 33% inferior ao observado para o carbono (225 dias) e para a biomassa (224 dias).

O resultado observado está próximo aos verificados por Yamaguchi (2015), que estudando a decomposição de diferentes aportes de palha, verificou valores de k para celulose entre $0,004678$ a $0,005248$ para quantidades de 2800 a 11300 kg ha^{-1} de palha em campo.

Figura 10 - Celulose remanescente de três quantidades de palha (4300 , 7400 e 11500 kg ha^{-1}) mantidas no solo (A) e duas técnicas de cobertura, sendo nitrato de amônio-COM e inoculante-FBN (B) durante a primeira soca da variedade IACSP 95-5000, no município de Guairá, safra 2014-2015

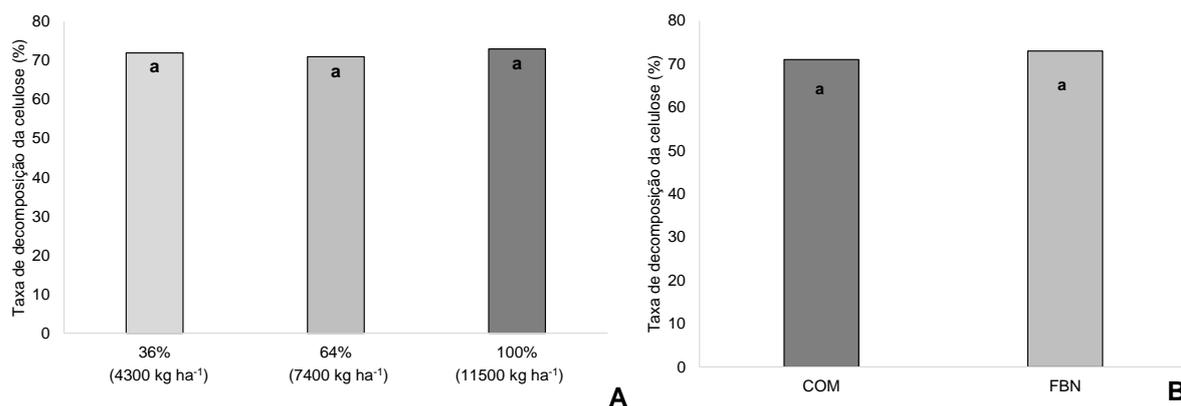


As observações da intensidade não são comprovadas pela análise da taxa de decomposição da celulose, que não diferiu estatisticamente entre os níveis de palha ou inoculante-FBN e nitrato de amônio-COM em cobertura após 319 dias de experimentação (Figura 11).

O decréscimo médio da celulose foi de 72%, um consumo relativamente alto e já esperado, uma vez que as reações envolvidas na degradação deste componente

é que tornam o carbono disponível para o crescimento de microrganismos (DENG; TABATABAI, 1994).

Figura 11 - Taxa de decomposição da celulose de três quantidades de palha (4300, 7400 e 11500 kg ha⁻¹) mantidas no solo (A) e duas técnicas de cobertura (B), sendo nitrato de amônio-COM e inoculante-FBN, durante a primeira soca da variedade IAC95-5000, no município de Guaíra, safra 2014-2015. Letras iguais entre tratamentos indicam médias não significativas pelo teste de Tukey (p < 0,05)



A ausência de efeito dos níveis de palha tanto na constante (Figura 10) quanto na taxa de decomposição da celulose (Figura 11) pode ter ocorrido devido a composição natural da palha da cana-de-açúcar, que pode ter ofertado, de início, um produto satisfatório aos decompositores celulotíticos como o *Aspergillus*, *Trichoderma* e *Penicillium* (FORTES et al., 2012). Ainda neste sentido, Siqueira & Franco (1988) relataram que a biomassa de fungos, varia de 400 a 5.000 kg ha⁻¹, sendo assim, esta comunidade pode ter sido fomentada apenas pelo “colchão” de palha, que favoreceu a manutenção da umidade e temperatura ideais para a decomposição, conforme mencionado por Robertson e Thorburn (2007) e Oliveira et al. (2002), refletindo sobre a taxa final de decomposição deste componente (Figura 11).

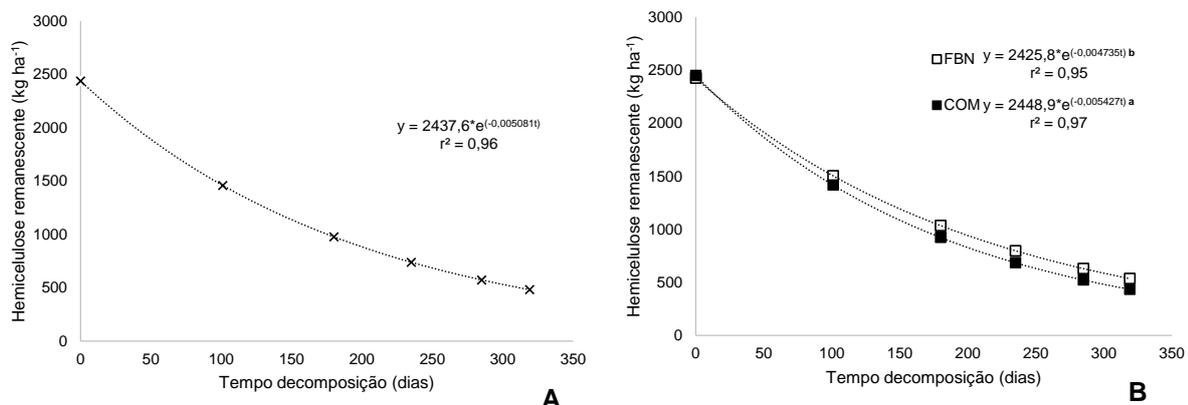
Quanto as técnicas de cobertura, tem sido relatado que a decomposição de celulose seria reforçada pela adição de nitrogênio devido ao aumento das celobioses (CARREIRO et al., 2000), um dissacarídeo intermediário da quebra da celulose, que se transforma em oligossacarídeos solúveis, os quais são mais facilmente importados pelos microrganismos (TAKENAK et al., 1999). A formação da celobiose sugere melhor desempenho dos decompositores, o que para Watkinson et al. (1981), estaria relacionado ao estímulo que o N causaria sobre a produção micelial de fungos celulolíticos, ampliando o ataque, e diretamente, a produção de enzimas responsáveis pela quebra deste componente, acelerando assim a sua decomposição.

Já em áreas ausentes de adubação, Silvester e Musgrave (1991), relatam que a presença de fungos lignocelulolíticos em resíduo vegetais podem atuar como parceiros dos diazotróficos, despolimerizando açúcares e fenóis do tecido, facilitando assim, o acesso desses organismos ao substrato de interesse, o que garantiria o aumento da FBN e a produção de N em seu interior. Porém, a parcela estimada via fixação (10-20 de N kg/ha⁻¹) não foi equivalente ao fertilizante para alterar significativamente a decomposição do componente.

Com a depleção no conteúdo de celulose na palha, fonte energética primária para os decompositores, a biomassa microbiana foi direcionada à hemicelulose, segundo componente mais acessível e abundante neste estudo (32%). Também não houve diferença significativa da constante e da taxa de decomposição da hemicelulose, em função da interação entre níveis de palha e técnicas de cobertura.

Entretanto, a análise individual das técnicas de cobertura se alteraram para este componente (Figuras 12). Verificou-se diferenças para k e meia vida, mas ausência de efeito sobre a taxa final de mineralização da hemicelulose entre o nitrato de amônio e o inoculante-FBN em cobertura (Figura 13). Já a análise individual dos níveis de palha não alterou este componente, e o resultado é confirmado pelo valor médio de k de 0,005081 (Figura 12).

Figura 12. Hemicelulose remanescente médio três quantidades de palha (4300, 7400 e 11500 kg ha⁻¹) mantidas no solo (A) e duas técnicas de cobertura (B), sendo nitrato de amônio-COM e inoculante-FBN (B) durante a primeira soca da variedade IACSP 95-5000, no município de Guaíra, safra 2014-2015

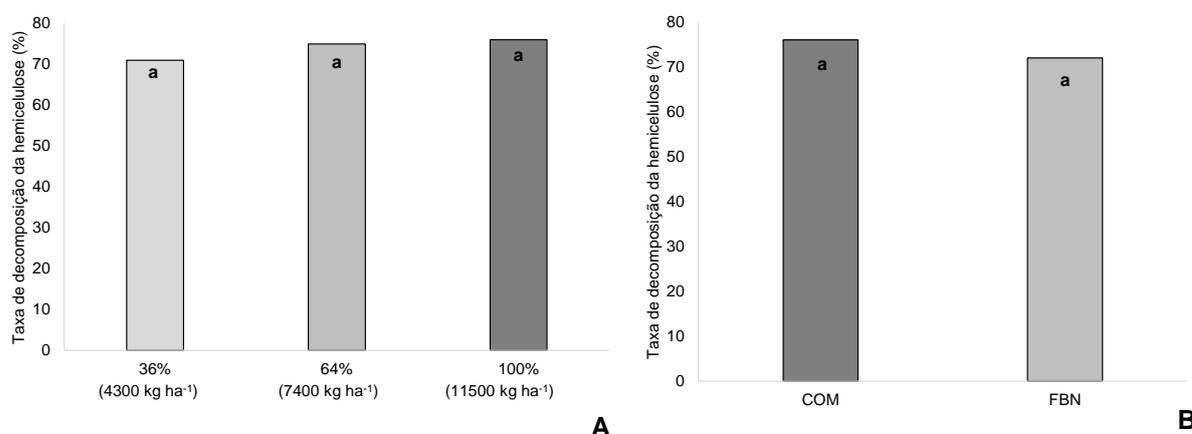


O valor observado está abaixo aos de Yamaguchi (2015), que estudando quantidades semelhantes de palha, verificaram para o menor nível (2800 kg ha⁻¹) k de 0,006163 e para o maior (11300 kg ha⁻¹) 0,007523, e ressaltaram o componente como

um dos protagonistas pela perda de massa seca da palha. Já Coelho (2012), ajustou o comportamento da mineralização deste componente ao modelo quadrático ($r^2 = 0,50$), concluindo que a taxa de decomposição foi praticamente constante ao longo do tempo, contrariando as observações do estudo (Figura 12).

O comportamento da mineralização da hemicelulose foi 7% mais rápida se comparado ao comportamento da celulose (Figura 10), confirmando que este foi o primeiro componente a ser mineralizado no processo de decomposição, seguido pela celulose. O resultado pode ser comprovado pelo tempo de meia vida que para a celulose foi de 150 dias e para a hemicelulose foi de apenas 138, e pela taxa média de decomposição do componente, pois independente do aporte de palha em solo, foi em média de 74% (Figura 13).

Figura 13 - Taxa de decomposição da hemicelulose de três quantidades de palha (4300, 7400 e 11500 kg ha⁻¹) mantidas no solo (A) e duas técnicas de cobertura (B), sendo nitrato de amônio-COM e inoculante-FBN e durante a primeira soca da variedade IAC95-5000, no município de Guaira, safra 2014-2015. Letras iguais entre tratamentos indicam médias não significativas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)



Na literatura se observa o revezamento entre os componentes estruturais como reguladores de queda de massa para palha de cana-de-açúcar, com predomínio da hemicelulose (OLIVEIRA, 1999; OLIVEIRA et al. 2002; DIETRICH 2014; YAMAGUCHI, 2015; SOUZA JUNIOR, 2015). Wagner e Wolf (1999) afirmam que este comportamento está relacionado ao peso molecular e grau de polimerização relativamente mais baixos da hemicelulose, o que facilitaria o ataque microbiano e a decomposição mais rápida, excedendo a taxa de decomposição da celulose. Já a matriz celulósica presente na parede celular em grande parte se encontra na forma cristalina, altamente ordenada, porém, há uma fração da molécula que é interligada

de forma caótica (amorfa), e é nessa região que segundo Pérez et al. (2002) possivelmente se dá a maior susceptibilidade a degradação enzimática.

A técnica em cobertura alterou a constante (Figura 12), mas não a taxa (Figura 13) de decomposição da hemicelulose. Verificou-se que a intensidade de decomposição avaliada para o tratamento com nitrato de amônio em cobertura superou significativamente ($k= 0,005427$) o inoculante ($k= 0,004735$), atingindo uma redução média de 73% quando avaliada para os três níveis de palha.

Como os valores estimados de N fixado via FBN no interior do resíduo são inferiores a dose adicionada pelo fertilizante, a depleção em N nas parcelas de inoculante, pode ter sido um diferencial para se observar diferenças deste componente entre as duas técnicas de cobertura avaliadas, ainda que ocorra adições auxiliares como compostos nitrogenados liberados pelos exsudatos na interface raiz-solo (BADRI; VIVANCO, 2009).

Normalmente de 10% a 40% do N-fertilizante aplicado no canavial é efetivamente usado pelas plantas no ciclo, de acordo com dados compilados na literatura por Cantarella et al. (2007). Portanto, no mínimo 60% do N mineral aplicado provavelmente permaneceu no solo após a colheita da cana-planta, e esse efeito cumulativo de adubações sucessivas foi importante suprimento de N em longo prazo (VALLIS; KEATING, 1994). Como o estudo avaliou o segundo ciclo de produção, a somatória do estoque de N disponível (cana planta + soca) na área adubada pode ter sido superior na área de nitrato de amônio em relação ao inoculante, o que pode ter modificado o desempenho dos decompositores e acelerado o processo.

Outra possibilidade é que a partir do consumo de celulose da palha ocorra uma redução do volume de massa remanescente sobre o solo, gerando a diminuição da espessura do “colchão” de palha, o que segundo Lincoln e Vitousek, (2016) dificultaria a ação das bactérias fixadoras de nitrogênio, não só nas raízes das plantas, como na palha. Como consequência, a meia vida da hemicelulose foi significativamente mais longa (148 dias) para o uso do inoculante, em relação ao uso do nitrato de amônio (128 dias).

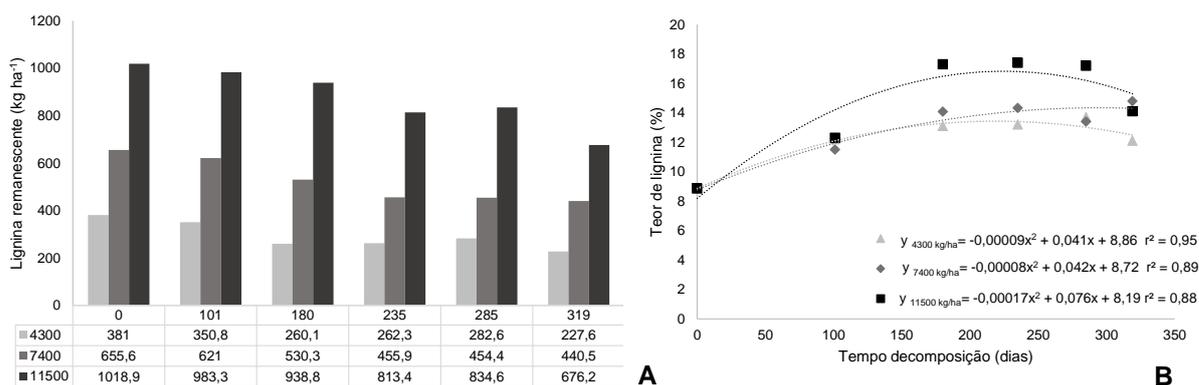
Ao contrário dos carboidratos estruturais, o comportamento da decomposição da lignina durante a safra 2014-2015 não se ajustou a nenhum modelo matemático. Também não houve diferença significativa da variável em função da interação entre níveis de palha e técnicas de cobertura, mas pela análise individual, houve alteração do componente para níveis de palha, o que já era previsto, dada a contribuição final

em massa, que é um diferencial em cada tratamento, e também para as técnicas de cobertura (Figura 14).

Como forma de apresentação foi selecionado o gráfico de barras que representa as diferenças verificadas ao longo da safra, tanto para as quantidades de palha em relação à quantidade inicial desse material (Figura 14 A) e das técnicas de cobertura (Figura 15 A). Por conta dessa eventualidade e para garantir a informação de dados sólidos e condizentes, os teores (Figuras 14 B e 15 B) foram incluídos e ajustados ao modelo quadrático para acompanhamento da discussão.

A quantidade de lignina decaiu sensivelmente ao longo da safra independente do aporte de palha sobre o solo. Os valores iniciais de 381; 655,6 e 1018,9 kg ha⁻¹ para 227,6, 440,5 e 676 kg ha⁻¹ ao final de 319 de experimentação revelaram uma redução significativa de 40 e 32% para os menores níveis (4.300 e 7.400 kg ha⁻¹) e 34% para o maior nível (11.500 kg ha⁻¹), permanecendo cerca de 68 e 60% do conteúdo inicial na massa (Figura 14). Estes valores encontram-se dentro da ampla faixa de mineralização (45 a 84%), relatada em estudos com recolhimento de palha de cana-de-açúcar, dentro de um ano agrícola (OLIVEIRA, 1999, COELHO, 2012, YAMAGUCHI, 2015; FORTES et al., 2012; BENEDETTI, 2014; DIETRICH, 2014).

Figura 14 - Quantidade (A) e teor (B) de lignina remanescente de três quantidades de palha (4300, 7400 e 11500 kg ha⁻¹) mantidas no solo durante a primeira soca da variedade IACSP 95-5000, no município de Guaira, safra 2014-2015



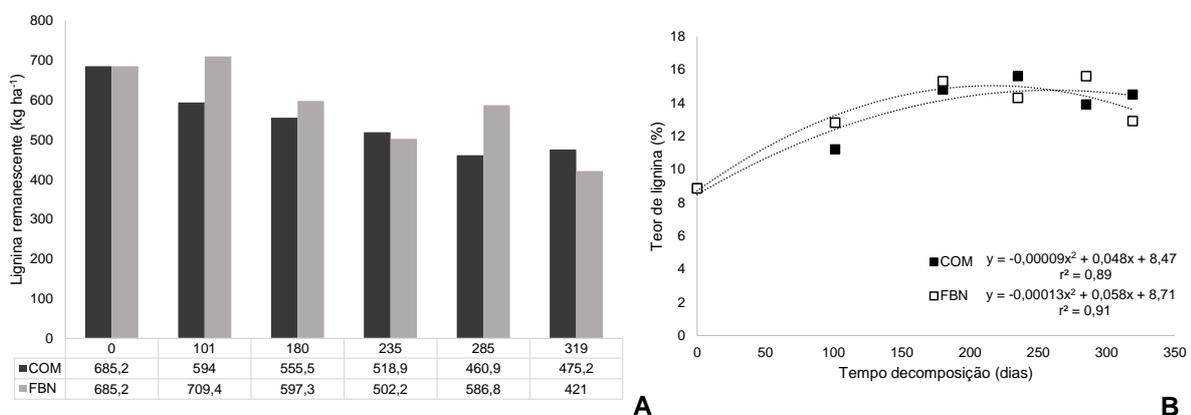
Carvalho et al. (2010) atribuem a baixa mineralização da lignina em razão da estrutura molecular bidimensional e tridimensional complexa deste composto, que lhe confere alta resistência à decomposição. Adicionalmente Fengel e Wegener, (1989) ressaltam que o papel biológico da lignina, se baseia justamente no apoio estrutural as plantas, conferindo alta resistência mecânica, microbiológica e impermeabilidade à

água, o que naturalmente já dificulta a sua degradação. Assim, as taxas de degradação relatadas para lignina da palha de cana-de-açúcar ficam entre 45 a 84% do conteúdo original, durante um ano agrícola (OLIVEIRA, 1999, YAMAGUCHI, 2015; FORTES et al., 2012; BENEDETTI, 2014; DIETRICH, 2014).

Na presente pesquisa o processo de decomposição, em função dos níveis de palha, seguiu a ordem hemicelulose > celulose > lignina e em decorrência do decréscimo dos carboidratos na palha, ocorreu uma redistribuição entre as proporções desses elementos, fazendo com que o teor de lignina sofresse um comportamento inverso, e passasse a enriquecer o material vegetal remanescente (Figura 14 B). Este enriquecimento também foi notificado por Yamaguchi (2015) e Souza Junior (2015), em estudos com palha de cana-de-açúcar.

Não houve efeito significativo das técnicas de cobertura sobre a mineralização da lignina durante boa parte do experimento, exceto aos 101 e 285 dias (Figura 11 A). A palha inicial, que possuía cerca de 685,2 kg ha⁻¹ em lignina, atingiu nestas fases, a maior diferença entre os tratamentos, com 709,6 e 586,6 kg ha⁻¹ para o inoculante FBN e 555,7 e 586,6 kg ha⁻¹ para o nitrato de amônio, indicando os períodos de maior concentração do material vegetal com este componente, que pode ser acompanhado pelo aumento do seu teor (Figura 15 B). Os resultados após 319 dias de ensaio, ainda que estatisticamente não significativos, revelaram maior mineralização da lignina (38%) quando se usou o inoculante FBN, em relação ao fertilizante mineral (30%).

Figura 15 - Quantidade (A) e teor (B) de lignina remanescente de palha de cana-de-açúcar mantidas no solo em função de duas técnicas de cobertura sendo nitrato de amônio-COM e inoculante-FBN (B) durante a primeira soca da variedade IACSP 95-5000, no município de Guaíra, safra 2014-2015



A adição de N ao solo independente da fonte, desempenha um papel importante na preservação da matéria orgânica, pela formação de componentes

orgânicos estáveis (CANTARELLA, 2007). Entretanto, o uso mal planejado tanto em excesso como por falta pode retardar a decomposição e promover possíveis interferências na composição do resíduo (POTRICH, 2012). Neste sentido, a palha tratada com inoculante no presente estudo, se mostrou mais adequada nutricionalmente para a mineralização da lignina.

Como nos estágios finais da decomposição, onde a perda de massa é dominada pela degradação do componente que se encontra mais abundante no resíduo, geralmente a lignina, qualquer modificação no sistema que interfira em sua modificação pode ser decisiva. Assim, Berg e Matzner (1997), afirmam que a adição de nutrientes pode ter um efeito neutro ou mesmo retardador do processo, no caso o nitrogênio é citado por Cotrufo et al. (2009) como retardador.

Existem várias discussões envolvendo a ação do nitrogênio sobre o decaimento da lignina. Para alguns, a concentração de N-fertilizante além de reduzir a comunidade de fungos decompositores deste componente (ALLISON et al., 2007), poderia inibir a síntese de enzimas essenciais a desconstrução da lignina (CARREIRO et al. 2000) e reagir com este componente da palha e formar complexos ainda mais recalcitrantes (BERG, 2000).

Furtado e Radaelli (2010), alertam para possíveis erros de interpretação ao se usar a lignina como indicador isolado para prenunciar a decomposição dos resíduos culturais no solo. Eles afirmam que as quantidades de lignina se alteram mais pelo decréscimo dos outros componentes, que promovem sua concentração na biomassa e que o ideal seria usar outros indicadores como relação C: N, para acompanhar a decomposição da palha. Também Fortes et al. (2013) e Ramos et al. (2016) citam a relação C: N da palha da cana-de-açúcar como boa indicadora deste processo, enquanto o pH do solo, a temperatura e umidade do solo são citados por Oliveira (1999).

Neste sentido, as mudanças na relação C: N e no nitrogênio da palha em função dos níveis de palha e das técnicas de cobertura serão descritas a seguir.

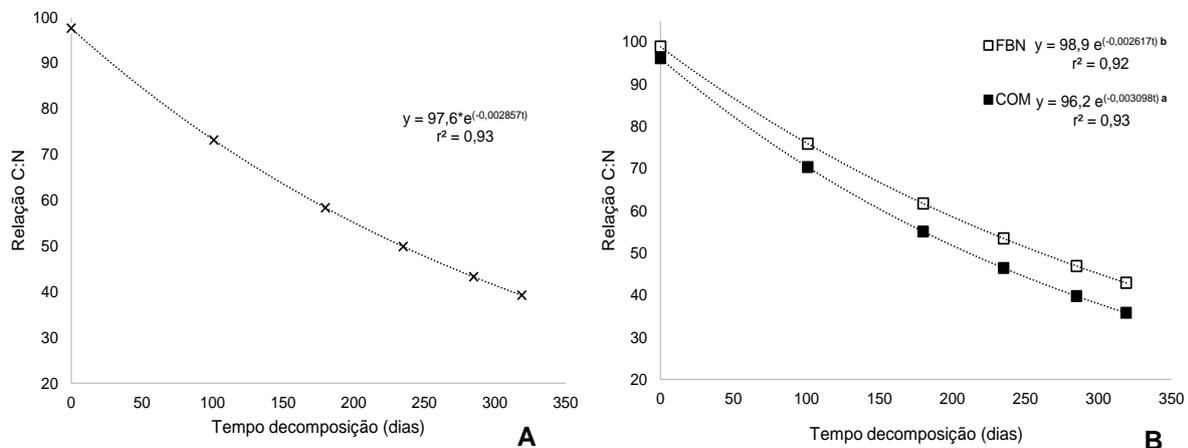
4.3 Relação C: N e nitrogênio liberado

O decaimento da relação C: N e do nitrogênio da palha de cana-de-açúcar, variedade IACSP 95-5000, na safra 2014-2015, não foi alterado pela interação entre o nível de palha estudado e das técnicas usadas de cobertura. A respeito da relação

C: N verificou-se que houve o ajuste significativo à equação de cinética de primeira ordem tanto para os níveis de palha, como para as técnicas de cobertura. Entretanto, a constante de cinética e a taxa de decomposição só se alteraram significativamente em função do nitrato de amônio em cobertura, sem efeito para os níveis de palha estudados (Figuras 16 e 17).

Como o comportamento da razão C: N na palha, que inicialmente era de 96:1 não diferiu entre as quantidades de palha estudadas (Figura 16 A), o valor final da relação foi 39:1, com a média para k de 0,002857, meia vida de 248 dias e a taxa de queda final de 54%. A média de k foi próxima à observada para os menores níveis de palha estudados por Yamaguchi (2015), que identificou para um ciclo de produção (281 dias) constantes entre 0,002517 e 0,002621 para as quantidades 2800 e 5700 kg ha⁻¹ e valores maiores, sendo 0,003468 e 0,003385, para 8500 e 11300 kg ha⁻¹ de palha.

Figura 16 - Relação C: N de três quantidades de palha (4300, 7400 e 11500 kg ha⁻¹) mantidas no solo (A) e duas técnicas de cobertura, sendo nitrato de amônio-COM e inoculante-FBN (B) durante a primeira soca da variedade IACSP 95-5000, no município de Guaíra, safra 2014-2015

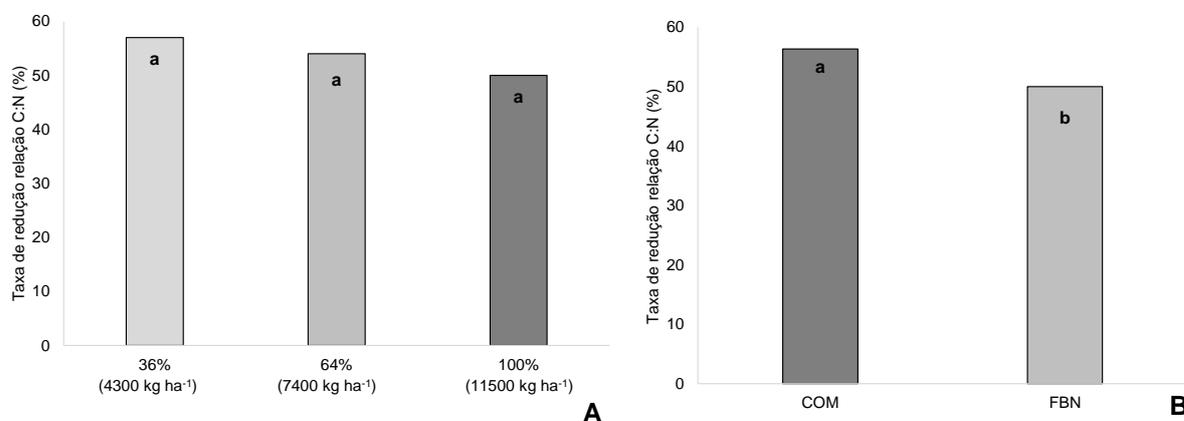


A taxa de decaimento de 54% na relação C: N em função dos níveis de palha (Figura 17) está acima ao relatado por Vitti et al. (2008), que verificaram diminuição média de 35 % da relação C: N de um total de 9000 kg ha⁻¹ de palha, durante um ciclo agrícola de estudo. Por outro lado, Fortes et. al. (2012), verificaram redução de 51%, para uma relação C: N inicial de 108:1 em uma área com 10.000 kg ha⁻¹ de palha, tendo atingido 55:1 após doze meses de avaliação, e ao final de três ciclos o valor de 24:1. Benedetti (2014) avaliando a decomposição de três níveis de palha (9, 18 e 28.000 kg ha⁻¹) também não verificou diferença no decréscimo da relação C: N entre

os níveis estudados, que diminuiu em média 50% do inicial de 174:1. O mesmo foi mencionado por Souza Junior (2015) independente do aporte de palha (3.500; 7.000; 14.000 e 21.000 kg ha⁻¹), a relação C: N variou de 37 a 44:1 para o inicial de 108:1.

Até 180 dias após a deposição da palha em campo se observou o maior decaimento na relação C: N, coincidindo com as quedas acentuadas de biomassa (Figura 6), de carbono (Figura 8), celulose (Figura 10) e hemicelulose (Figura 12). Este período também coincidiu com alta precipitação (Figura 1) e elevadas temperaturas (setembro a março), que são condições climáticas favoráveis à decomposição de resíduos vegetais, pela intensa atividade microbiana (COTRUFO et al, 2009; ROBERTSON; THORBURN, 2007). Desta forma a queda de compostos carbônicos associada com a manutenção do nitrogênio na biomassa (Figura 15) favorece a redução na relação C: N.

Figura 17 - Taxa de redução da relação C: N de três quantidades de palha (4300, 7400 e 11500 kg ha⁻¹) mantidas no solo (A) e duas técnicas de cobertura, sendo nitrato de amônio-COM e inoculante-FBN (B) durante a primeira soca da variedade IACSP 95-5000, no município de Guaíra, safra 2014-2015. Letras diferentes entre tratamentos indicam médias significativas pelo teste de Tukey (p < 0,05)



O efeito significativo das técnicas de cobertura sobre a constante k e taxa de redução da relação C:N pode ser visualizado nas Figuras 16 e 17. Este comportamento já era esperado pois qualquer modificação no sistema produtivo que alterasse a disponibilidade de nitrogênio poderia mudar a relação C: N da palha.

O uso do nitrato de amônio em cobertura acelerou significativamente a redução da relação C:N, tendo o coeficiente k de 0,003096, enquanto para o inoculante o valor foi de 0,002617 ou seja, 15% inferior, levando a uma taxa final de decomposição de 56% para o fertilizante mineral e 50% para o inoculante FBN, em cobertura.

O nitrato de amônio disponibiliza nitrogênio mais prontamente para a comunidade microbiana acelerando a queda na relação C: N, que atingiu o valor de 35:1, comparado ao resultado de 43:1 da palha tratada com inoculante. Este comportamento é suportado pela afirmação de Oliveira (1999) que menciona que para reduzir a relação C: N de um resíduo, pode se lançar mão do uso de fontes nítricas ou amoniacais, corroborando com afirmações de Fortes et al. (2012) e Vitti et al. (2010). O aporte extra de N estreitaria a relação entre os elementos, minimizando a competição pelo nutriente entre planta e microrganismos, o que teoricamente modificaria o desempenho da comunidade biológica à decomposição do material e aceleraria o processo, conforme observado no estudo.

Segundo MOREIRA e SIQUEIRA, (2006), um resíduo vegetal passa a atuar como fonte de nitrogênio, ou seja, exibe mineralização líquida de N, quando apresenta valores próximos a 30:1, o mesmo foi concluído por Vitti et al. (2008) avaliando a mineralização de palha de cana. Campos (2003), verificou equilíbrio entre mineralização e imobilização de nitrogênio na palha de cana para uma relação C/N igual a 17:1, muito abaixo do que foi constatado na presente pesquisa, que se manteve acima de 40:1. Yamaguchi (2015) verificaram relação C: N entre 34/1 e 46:1 após 281 dias de decomposição da palha e de 20:1 após 632 dias, mostrando o longo período até que a palha de cana-de-açúcar chegue próxima a este equilíbrio.

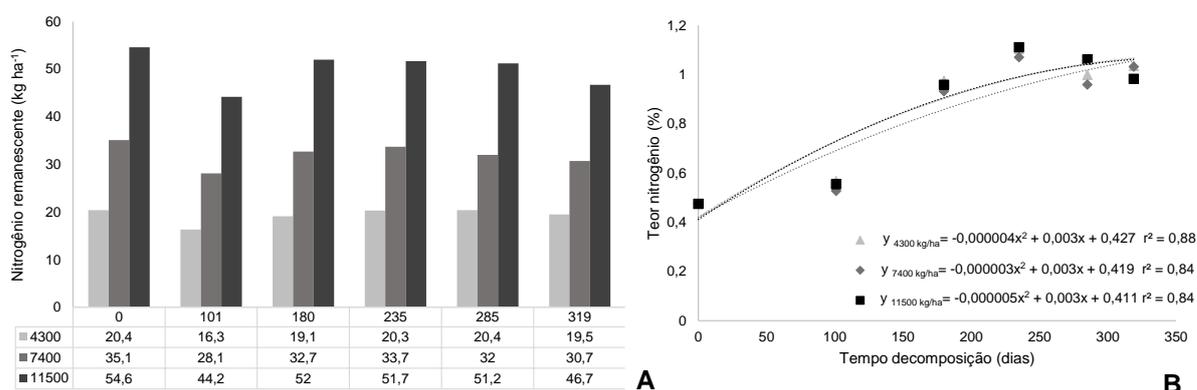
Nota-se com o exposto até aqui a importância do nitrogênio para o processo de decomposição de um resíduo. No presente estudo não se verificou alterações significativas na mineralização do nitrogênio da palha durante a safra 2014-2015, em função da interação entre os níveis de palha e a fonte nitrogenada avaliados. Também não houve ajuste a nenhum modelo matemático, o que para Strong e Fillery (2002), pode ser justificado pela complexidade do elemento, que torna difícil sua modelagem em termos matemáticos, haja vista que os processos observados no seu ciclo são muito dinâmicos e marcado por influências de fatores que afetam a atividade dos microrganismos, tais como temperatura e umidade do solo.

Não houve diferença significativa da quantidade e teor deste elemento em função da interação entre níveis de palha e técnicas de cobertura. A quantidade deste elemento permaneceu praticamente inalterada ao longo da safra, independente do aporte de palha sobre o solo (Figura 18), a não ser por uma depleção significativa aos 101 dias. Por outro lado, foi possível observar períodos em que o comportamento do

elemento foi alterado pelo uso do nitrato de amônio ao longo do experimento (Figura 19).

A quantidade inicial de nitrogênio contida em cada nível de palha (20,4; 35,1 e 54,6 kg ha⁻¹ para 4.300; 7.400 e 11.500 kg ha⁻¹), respectivamente, passou por uma redução de cerca de 3; 12 e 14% (Figura 18), do menor para o maior nível de palha. Este decréscimo não se manteve no tempo, sendo identificado um pequeno aumento próximo aos 180 dias, onde praticamente não se alterou de forma significativa, a não ser ao final do experimento. A queda inicial do elemento para todos os níveis de palha, pode estar associada a fase inicial da decomposição, que representa a liberação dos carboidratos hidrossolúveis, proteínas e aminoácidos (SWIFT et al., 1979; FENGEL; WEGENER, 1989), e dispensa a ação enzimática praticada pelos decompositores.

Figura 18 - Quantidade (A) e teor (B) de nitrogênio remanescente de três quantidades de palha (4300, 7400 e 11500 kg ha⁻¹) mantidas no solo, durante a primeira soca da variedade IACSP 95-5000, no município de Guaira, safra 2014-2015



As taxas finais de liberação entre 3 e 14 % independentemente do nível de palha, estão em consonância com a literatura que afirma que o potencial de liberação de nitrogênio a partir da palha de cana-de-açúcar por ciclo oscila 3 a 30% (VITTI et al., 2008; VITTI et al., 2010), com valores efetivos entre de 40 a 120 kg ha⁻¹ de N ano⁻¹ (FRANCO et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2002; ROBERTSON; THORBURN, 2007).

Com a continuidade da decomposição, a abundância fornecida em termos de carbono orgânico lábil, pela celulose e hemicelulose e até mesmo pelo crescimento das raízes da cultura (VITTI et al., 2007), eleva o aporte de carbono no solo. A deficiência de N no tecido, faz com que os microrganismos recorram ao N disponível, fornecido pela adubação ou FBN para assegurar o crescimento da população, armazenando novamente o N na massa da palha.

Conforme discutido anteriormente, a baixa contribuição da palha como fonte de N para o sistema de produção se deve a desproporcionabilidade entre C e N inicial, mas também de fatores inerentes ao solo (ROBERTSON; THORBURN, 2007), que em comunhão com os microrganismos presentes pode imobilizar temporariamente este elemento. Assim, além de não contribuir para a ciclagem do sistema ainda pode competir com o fertilizante adicionado, pelo menos dentro de curto prazo.

Esta informação pode ser acompanhada pelo aumento no teor de N na palha, mais notadamente até os 235 dias. Os valores ajustados a equação quadrática indicam que o material até o período em questão, não está sendo disponibilizado. Em média, a concentração variou de 0,47, atingindo um pico de 1,11%, que representa um acréscimo de 136%, e cai para 1,01% ao final do estudo, um enriquecimento de 114%. Valores semelhantes foram verificados por Spain & Hodgen (1994) constatando uma pequena diminuição inicial no teor de nitrogênio na palha, por efeito de alguma tentativa de decomposição do material pela biomassa microbiana, porém ao final de 338 dias notaram teores significativamente maiores em relação ao inicial (100%). Robertson e Thorburn (2007a) também encontraram um intenso enriquecimento da palha de cana com N (100%) após um ano de estudo. Como neste tempo também se observa intensa queda de biomassa, carbono e carboidratos (Figuras 6, 8 e 10), o aumento no teor de N indica que o material está se decompondo, mas o nutriente está permanecendo na mistura (palha + microrganismos). Já o decréscimo no teor é acompanhado pelo período de liberação deste elemento que foi verificado ao final do experimento, ou seja, mais notadamente após 285 dias de estudo.

A diferença de liberação de N entre o maior e o menor nível de palha aparenta não ser tão promissora para os propósitos agrícolas em curto prazo, porém, em estudos de longa duração (ROBERTSON; THORBURN, 2007; VALLIS et al., 1996; TRIVELIN et al., 2013), foi confirmado que a palha assume papel como provedora do nutriente ao sistema solo-planta, e que, quanto maior o colchão de palha em solo, maior é este efeito. Neste sentido, a contribuição bruta de nitrogênio oferecida pelos maiores níveis (7400 e 11500 kg ha⁻¹) é cerca de 2 a 3 vezes maior em relação ao menor nível (4300 kg ha⁻¹).

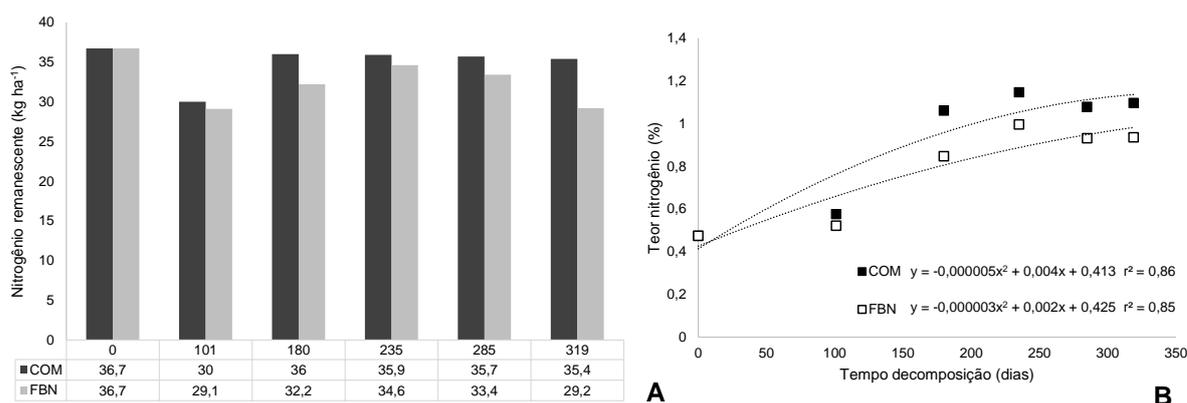
Por isto, o recolhimento anual de palha baseado apenas em quantidade deve ser revisto por meio de planejamento e gestão do canavial, e pelas vantagens futuras que a cobertura oferece ao agrossistema, como a redução nos custos de produção,

que se reproduzem sobre a economia de insumos, e sobretudo, a redução de impacto ambiental e conservação dos recursos naturais, que são pilares de um sistema de produção sustentável.

A respeito da influência das técnicas de cobertura também não foi possível ajuste a nenhum modelo matemático. A quantidade permaneceu praticamente inalterada ao longo da safra, porém em alguns períodos (180 e 319 dias) foi verificada diferença significativa entre o uso do nitrato de amônio sobre o inoculante FBN (Figura 19 A).

Considerando a baixa fertilidade natural dos solos tropicais e o potencial de exportação da cultura, que chega a extrair apenas com os colmos colhidos, 50 a 70% do nitrogênio que é fornecido por safra (ROSSETTO et al., 1010; SCHULTZ et al., 2010), os microrganismos que fixam N₂ na palha contribuem unicamente com a parcela que é dada por sua atividade, consumindo possivelmente o substrato do próprio resíduo e/ou liberado pelo sistema radicular. Neste caso, o microclima a nível solo pode ter sido modificado pois existe também relação com a microflora nativa, e como os microrganismos do inoculante, segundo Ladha (1986), não se configuram como uma ameaça a população, existe a partição entre cada nicho quanto a água, nutrientes e espaço físico, o que modificaria o comportamento do processo. Neste caso, o que se percebe é uma mineralização mais acelerada da celulose e hemicelulose, quando se trata do fertilizante mineral, porém, a mineralização de N, que seria uma parte importante do processo de decomposição, foi satisfatória apenas para o inoculante, ao contrário do fertilizante mineral, em que o nutriente se manteve praticamente inalterado na palha (Figura 19).

Figura 19 - Quantidade (A) e teor (B) de nitrogênio remanescente de palha de cana-de-açúcar mantidas no solo em função de duas técnicas de cobertura, sendo nitrato de amônio-COM e inoculante-FBN (B) durante a primeira soca da variedade IACSP 95-5000, no município de Guaíra, safra 2014-2015



Ao final de 319 dias a palha em área com inoculante aplicado em cobertura liberou mais N no tecido, que é comprovado pela quantidade final na palha para esta fonte (29,2 kg ha⁻¹) em relação ao nitrato de amônio (35,4 kg ha⁻¹) que praticamente não se alterou. Esta informação pode ser constatada durante o acompanhamento do teor de N (Figura 14 B). A avaliação foi significativa a partir de 180 dias, e revelou que o teor com inoculante FBN sempre se manteve abaixo do nitrato de amônio.

Em média, a concentração de N em área com nitrato de amônio-COM, variou de 0,47, atingindo um pico de 1,14%, que representa um acréscimo de 142%, e cai para 1,09% ao final do estudo, um enriquecimento de 131%. Para o inoculante, os resultados se mantiveram inferiores, partido de 0,47 até o máximo de 0,99%, indicando acréscimo de 110%.

Ainda que a parcela de N fixada no interior da palha da cana (10-20 kg ha⁻¹) por diazotróficos não seja tão promissora, a palha por não ter populações tão estabelecidas de microrganismos pode oferecer uma melhor chance para a sobrevivência dos organismos inoculados (RHOPER; LADHA, 1995). Adicionalmente, existe a hipótese "*microbial nitrogen mining*" ou extração de nitrogênio por ação microbiana, poderia elucidar os resultados observados para o inoculante. O estudo prevê que, quando o nitrogênio mineral se torna escasso no solo, uma situação que caracteriza o sucesso da fixação (FRANCO; NEVES, 1992), estimula o tamanho da comunidade de decompositores e as taxas líquidas de decomposição da matéria orgânica do solo aumentarão (MOORHEAD; SINSABAUGH, 2006). Os autores descrevem que neste processo alguns microrganismos usam substratos ricos em energia (por exemplo, carbono lábil) para degradar ativamente compostos de carbono recalcitrantes com suas enzimas extracelulares para adquirir nitrogênio o que explicaria entre outros argumentos, a mineralização verificada para este tratamento tanto para lignina quanto nitrogênio (Figura 15 e 19 A).

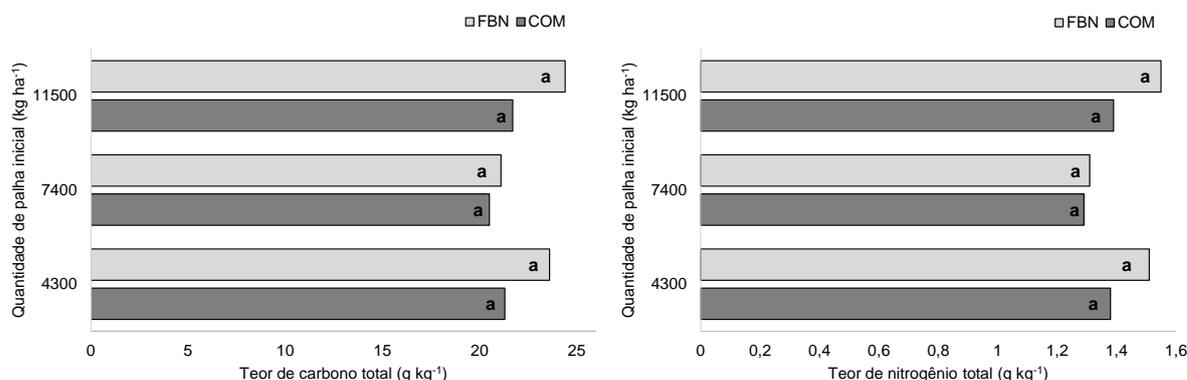
Por outro lado, existe a contribuição positiva da adubação sobre a mineralização do N da palha (FORTES et al., 2013a; VITTI et al., 2008; COELHO, 2012), discordando com as observações do estudo, pois a dose adicional de 120 kg ha⁻¹ de nitrato de amônio foi insuficiente para mineralizar, em curto prazo, o nutriente contido no interior do resíduo.

4.4 Teores de carbono e nitrogênio do solo

Ao final do experimento, nem o teor carbono orgânico total, nem o nitrogênio na camada 0-5 cm do solo se alteraram significativamente com a interação entre os níveis de palha 36, 64, e 100% (4.300; 7.400 e 11.500 kg ha⁻¹) ou aplicação de nitrato de amônio e inoculante FBN em cobertura, durante a primeira soca da variedade IACSP 95-5000. Os fatores individuais também não modificaram estas variáveis, indicando que uma safra agrícola pode não ser suficiente para se verificar contribuições do manejo da palha e das fontes de adubação de cobertura estudadas, sobre o solo de área de cana-de-açúcar (Figura 20).

Os resultados de teores de C e N após 319 dias de experimentação encontram-se na Figura 16, onde se observa variação de 21 a 24 g kg⁻¹ para o carbono e 1,29 a 1,55 g kg⁻¹ para o nitrogênio, para a área sob efeito da palha e cobertura com nitrato de amônio e inoculante FBN.

Figura 20 - Teores de carbono e nitrogênio do solo coletado abaixo de litterbags com palha de cana-de-açúcar na profundidade 0-5cm para duas técnicas de cobertura, sendo nitrato de amônio-COM e inoculante-FBN, durante a primeira soca da variedade IACSP 95-5000, no município de Guaíra, safra 2014-2015. Letras iguais entre colunas para a mesma quantidade de palha indicam médias não significativas pelo teste de Tukey a 5%



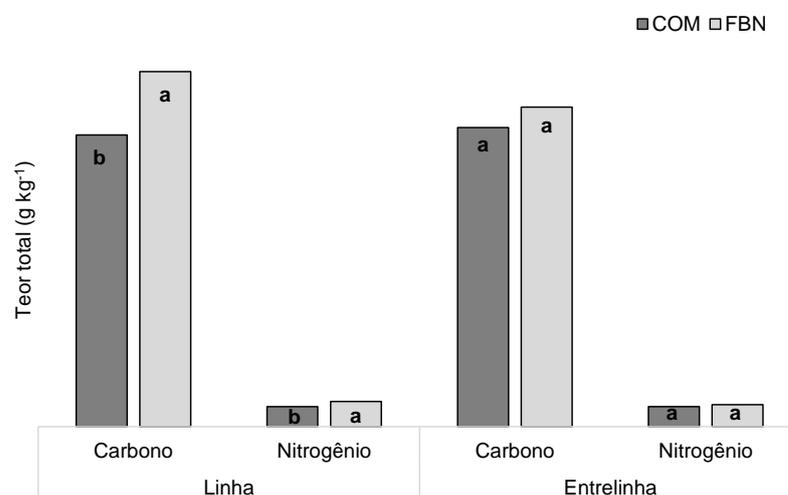
O acréscimo do carbono no ecossistema se encontra principalmente na forma de compostos orgânicos, como restos de plantas em diferentes estágios de decomposição, bem como raízes e macro e microfauna do solo (ROSCOE; MACHADO, 2002). Vários autores citam que as mudanças nos estoques de carbono e nitrogênio do solo são lentas e exigem estudos de longo prazo para serem detectadas.

Vários autores citam que as mudanças nos estoques de carbono e nitrogênio do solo são lentas e exigem estudos de longo prazo para serem detectadas. Neste sentido, Robertson e Nash (2013) também não identificaram mudanças no carbono total do solo em áreas recentemente conduzidas com palha em campo (1 ou 2 anos), sendo notados incrementos apenas após 4 ou 6 anos de cultivo usando este resíduo.

Selim et al. (2016) também afirma que o acúmulo de C no solo é lento, e, portanto, muitos anos são necessários para que mudanças passem a ser verificadas. Esta informação se refere a dinâmica natural da movimentação do C ao longo do perfil do solo, uma vez que há informações de que a deposição anual de palha não contribuiria sobre o incremento de C (BALL-COELHO et al., 1993, MEIER et al., 2006; THORBURN et al., 2012). Razafimbelo et al. (2006), observaram um incremento de 15% (20,7 para 23,7 g kg⁻¹) nos teores de COT da camada 0-0,5 cm após 6 anos de manejo com palha. Em Latossolo vermelho distroférico, solo este, também da pesquisa em questão, Luca et al. (2008) notaram após 3 anos de cultivo com cana crua um incremento de 1,6 e 0,022 t ha⁻¹ de C e N após preservar anualmente 13t ha⁻¹ de palha. Adicionalmente, Almeida et al. (2015) observaram que a manutenção de 50% da palha em campo é suficiente para modificar os teores de C e N da camada superficial (0-0,5cm) após 4 anos de cultivo. Outros trabalhos também salientam a importância da manutenção do resíduo como ferramenta para elevar o incremento em carbono e nitrogênio do solo sob sistema de cana-crua (SIGNOR, 2010; LUCA et al., 2008; GALDOS et al., 2009; CARVALHO et al., 2013; CANELLAS et al., 2010; SOUZA JUNIOR, 2015).

Quanto aos teores de C e N da camada 0-10cm do solo, houve influência significativa da posição de amostragem e do uso do nitrato de amônio e do inoculante FBN (Figura 21). Observou-se maior acúmulo de C e N na linha da cultura quando se usou o inoculante FBN. Os valores registrados para o inoculante na linha foram na ordem de 19 e 1,3 g kg⁻¹ de C e N, e o teor de carbono e nitrogênio total na linha com fertilizante mineral foi de 16 e 1 g kg⁻¹, respectivamente.

Figura 21 - Teores de carbono e nitrogênio do solo coletados em dois locais de amostragem na profundidade 0-10cm em função de duas técnicas de cobertura, sendo Nitrato de amônio-COM e inoculante-FBN (B) durante a primeira soca da variedade IACSP 95-5000, no município de Guaíra, safra 2014-2015. Letras diferentes entre colunas para o mesmo local de amostragem indicam médias significativas pelo teste de Tukey a 5%



Com relação à contribuição significativa do inoculante FBN para o carbono na camada 0-10cm, talvez tenha havido estímulo à atividade microbiana nas raízes, que pode ter incrementado os exsudatos radiculares, os quais podem contribuir com valores entre 30 e 40% do total de carbono que entra no solo (GRAYSTON et al., 1996). Também a própria biomassa da raiz da cultura pode ser fonte de C ao se decompor (VITTI et al., 2007; ROSSETTO et al., 2013), chegando a potenciais de alocar 33% do C na forma de COS (CARVALHO et al., 2013).

Yadav et al. (2009); Taule et al. (2012) e Beneduzi et al. (2013) citam, justamente, que entre os benefícios que os microorganismos diazotróficos podem trazer as plantas está não só o potencial fornecimento de N₂ atmosférico, mas também os efeitos positivos em plano rizosférico, como aumento no teor de C orgânico e extração de nutrientes na rizosfera. O conteúdo total de carbono (CT) é dado pelo somatório de C orgânico e inorgânico do solo, mas para regiões tropicais a porção inorgânica é quase desprezível (KONONOVA, 1982), o que permite afirmar que a contribuição dos manejos modificou diretamente a fração orgânica lábil, que é sensível as alterações do ambiente.

As bactérias diazotróficas também são promotoras de crescimento de plantas (BPCP) se referindo as endofíticas obrigatórias e as RPCP, que são as rizobactérias promotoras do crescimento de planta. Estas bactérias vivem na rizosfera e promovem de maneira benéfica o crescimento da espécie vegetal a ela associada numa relação

não simbiótica, incluindo os gêneros *Azospirillum* e *Burkholderia* (WELLER, 2007). Os modos de ação de ambos os grupos são diversos e, portanto, o crescimento vegetal pode ser favorecido por elas tanto de forma direta como indireta. A promoção é dita como direta quando os microrganismos facilitam a captação de certos nutrientes na rizosfera (YADAV et al., 2009; TAULE et al., 2012; BENEDUZI et al., 2013) solubilizando minerais como o fósforo (SINGH et al., 2007), ou quando produzem fitormônios (SUMAN et al., 2005). Já a produção de crescimento indireta ocorre por meio do controle de fitopatógenos, ou seja, pela indução de resistência sistêmica no hospedeiro (LAMBAIS, 2001) ou pela produção de sideróforos (NEILANDS; LEONG, 1986).

Os resultados na linha indicam que o N pode ingressado no solo na forma de compostos nitrogenados de elevado (polissacarídeos, proteínas) e baixo peso molecular (aminoácidos, ácidos orgânicos) que são liberados pelos exsudatos na interface raiz-solo (BADRI; VIVANCO, 2009), porém, o solo sob inoculante detém um mecanismo adicional de entrada, que é dada pela parcela fixada no interior do resíduo (PATRIQUIN, 1982; LINCOLN; VITOUSEK, (2016), além da contribuição do N mineralizado da palha nesse tratamento.

Por outro lado, existe a limitação à aplicação do fertilizante mineral na superfície do solo por causa da palha, ainda que o nitrato seja uma fonte estável a volatilização, a presença da cobertura com alta relação C: N e lignina favorece a retenção do nutriente na biomassa microbiana (imobilização) até que o resíduo seja decomposto. Vale ressaltar que até a fase de amostragem, a palha em ambiente com fertilizante mineral não havia iniciado a fase de mineralização do nutriente (Figura 13). Outra hipótese pode ser dada pela perda de N-amoniaco. Esta porção está sujeita ao processo de nitrificação no solo, ou seja, o íon amônio é oxidado e convertido em nitrato. O ânion NO_3^- pode sofrer repulsão elétrica pelos sítios de colóides com carga negativa, expulsando o N e favorecendo ao deslocamento para camadas mais profundas do solo (KINJO; PRATT, 1971). Na entrelinha, ainda que palha amortecia o impacto, existe a pressão do rodado sobre o solo que pode maximizar os sítios de anaerobiose e favorecer o processo de desnitrificação do N-fertilizante (POTTHOFF et al., 2005).

Pode-se concluir que o inoculante FBN para o período e condições ambientais do estudo se mostrou superior ao nitrato de amônio, promovendo o enriquecimento da camada inicial do solo além de não comprometer a dinâmica de decomposição da

palha, e afortunadamente elevar a mineralização de componentes recalcitrantes do tecido, como a lignina e o próprio nitrogênio.

Como na literatura não há relatos sobre decomposição de palha usando inoculante FBN para suprir o nitrogênio de cobertura, confirmar solidamente a real contribuição desta fonte como um insumo adicional ao agroecossistema de cana-de-açúcar, e potencial substituto do fertilizante mineral, só será possível, após a instalação de estudos a longo prazo, aliados ao monitoramento do sistema solo-planta, que se vislumbra em uma importante linha de pesquisa a ser desenvolvida.

5 CONCLUSÕES

A constante e a taxa de decomposição da massa seca e carbono da palha de cana-de-açúcar não são influenciadas por diferentes quantidades inicialmente aportadas sobre o solo ou pela aplicação de nitrato e inoculante FBN em cobertura, permanecendo em média 42% do material em campo após uma soca de avaliação.

A decomposição é dada pela redução da celulose e hemicelulose da palha, porém a velocidade do processo é intensificada com a aplicação do nitrato de amônio em cobertura, e o mesmo foi verificado para a relação C: N, resultando em material remanescente com relação C: N média de 41:1.

A mineralização de N é satisfatória apenas para o inoculante em cobertura ao contrário do fertilizante mineral em que o nutriente se manteve praticamente inalterado na palha, e o mesmo foi observado para a lignina, havendo maior mineralização neste tratamento (38%) em relação ao nitrato de amônio (30%).

Os teores de carbono e nitrogênio do solo não são modificados pelos níveis de palha ou nitrato de amônio e inoculante FBN em cobertura na camada 0-5 cm, porém, este último, potencialmente proporciona maiores entradas de C e N na linha da cultura à 0-10 cm.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. E. da S.; JESUS, T. S. de; FREITAS, M. do S. C. de; OLIVEIRA, A. R. de; SIMOES, W. L.; GIONGO, V. Estoques de carbono e nitrogênio em Vertissolo cultivado com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). In: X Jornada de Iniciação Científica da Embrapa Semiárido, 10. 2015. Petrolina, **Anais...** Petrolina, Embrapa Semiárido, 2015. 6p.

ALVARENGA, R.P.; QUEIROZ, T.R. Caracterização dos aspectos e impactos econômicos, sociais e ambientais do setor sucroalcooleiro Paulista. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 46, 2008, Rio Branco. **Anais...** Rio Branco, 2008. p.21

AQUINO, G.S.; MEDINA, C C. Produtividade e índices biométricos e fisiológicos de cana-de-açúcar cultivada sob diferentes quantidades de palha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.49, n.3, p.173-180, mar. 2014.

AQUINO, G. S. de; MEDINA, C. de C.; PORTEIRA JUNIOR, A. L.; SANTOS, L. O. CUNHA, A. C. B.; KUSSABA, D. A. O.; SANTOS JUNIOR, J. H. dos; ALMEIDA, L. F.; SANTIAGO, A. D. Sistema radicular e produtividade de soqueiras de cana-de-açúcar sob diferentes quantidades de palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 12, p. 1150-1159, dez. 2015.

AOAC INTERNATIONAL. **Official methods of analysis of AOAC International**. 18. ed. Gaithersburg: AOAC, 2011.

AZEREDO, D. F.; BOLSANELLO, J.; WEBER, H.; VIEIRA, J. R. Nitrogênio em cana-planta, doses e fracionamento. **STAB**, v.4, p.26-32, 1986.

BADRI D. V.; VIVANCO, J. M..Regulation and function of root exudates. **Plant, Cell e Environment**, v. 32, p. 666–681, 2009.

BALDANI, J. I.; CARUSO, L.; BALDANI, V. L. D.; GOI, S. R.; DÖBEREINER, J. Recent advances in BNF with non-legume plants. **Soil Biology and Biochemistry**, v.29, p.911-922, 1997.

BALDANI, J.I.; BALDANI, V.L.D. History on the biological nitrogen fixation research in graminaceous plants: special emphasis on the Brazilian experience. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.77, p.549-579, 2005.

BALDANI, J. I.; TEIXEIRA, K. R. S.; SCHWAB, S.; OLIVARES, F.; HEMERLY, A.; URQUIAGA, S.; REIS, M. V.; NOGUEIRA, E. M.; SIMÕES-ARAÚJO J. L.; VINAGRE, F.; CARVALHO, T. L. G.; FERREIRA, P. C. G.; BODDEY, R. M. Fixação Biológica de Nitrogênio em Plantas da Família Poaceae (antiga gramineae). In: RIBEIRO, M. R.; NASCIMENTO, C. W. A.; RIBEIRO FILHO, M. R.; CANTALICE, J. R. B. (Org.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. v. 6, p.203-272.

BALL-COELHO, B.; TIESSEN, H.; STEWART, J.W.B.; SALCEDO, I.H.; SAMPAIO, E. V.S.B. Residue management effect on sugarcane yield and soil properties in Northeastern Brazil. **Agronomy Journal**, v. 85, p.1004-1008, 1993.

BASHAN, Y.; HOLGUIN, G.; BASHAN, L. E. Azospirillum-plant relationships: physiological, molecular, agricultural and environmental advances (1997-2003). **Canadian Journal of Microbiology**, v.50, p.521-577, 2004.

BEHERA, S.; MOHANTY, R C.; RAY, R C. Ethanol fermentation of sugarcane molasses by *Zymomonas mobilis* MTCC 92 immobilized in *Luffa cylindrica* L. sponge discs and Ca-alginate matrices. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 43, n. 4, p. 1499-1507, 2012 .

BENEDETTI, M. M. **Palha de cana-de-açúcar em condição de cerrado: decomposição e disponibilidade de nutrientes**. 2014. 78f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de Uberlândia, Uberlândia-MG, 2014.

BENEDINI, M. S.; BERTOLANI, F. C. CARTA DE SOLOS E AMBIENTES DE PRODUÇÃO. **REVISTA COPLANA**, GUARIBA, V. 6, N. 45, P. 24-25, 2008.

BENEDUZI, A.; MOREIRA, F.; COSTA, P. B.; VARGAS, L. K.; LISBOA, B. B.; FAVRETO, R.; BALDANI, J. I.; PASSAGLIA, L. M. P. Diversity and plant growth promoting evaluation abilities of bacteria isolated from sugarcane cultivated in the South of Brazil. **Applied Soil Ecology**, v. 63, p. 94–104, 2013.

BERG, B. Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soils. **Forest Ecology and Management**, v.133, p.13-22, 2000.

BERG, B.; MATZNER, E. Effect of N deposition on decomposition of plant litter and soil organic matter in forest systems. **Environmental Reviews**, v. 5, p. 1–25, 1997.

BIGGS, I. M.; STEWART, G. R.; WILSON, J. R.; CRITCHLEY, C. N natural abundance studies in Australian commercial sugarcane. **Plant and Soil**, v. 238, p. 21–30, 2002.

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 de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

CAMPOS, L.H.F.; CARVALHO, S.J.P.; CHRISTOFFOLETI, P.J.; FORTES, C.; SILVA, J.S. Crescimento e produtividade da cana-de-açúcar (Var. SP83-2847) submetida a três manejos da palhada. **STAB**, v.26, p.33-36, 2008.

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

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

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C. Nitrogênio e Enxofre na cultura da cana-de-açúcar. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. (Org.). **Nitrogênio e Enxofre na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: IPNI Brasil, 2007, p.355- 392.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Eds.). **Fertilidade Do Solo**. Viçosa, SBCS, 2007a. p.375-470.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O.; CONTIN, T.L.M.; DIAS, F.L.F.; ROSSETTO, R.; MARCELINO, R.; COIMBRA, R.B.; QUAGGIO, J.A. Ammonia volatilisation from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. **Scientia Agricola**, v.65, n. 4, p.397-401, 2008.

CARNEIRO, A.E.V., TRIVELIN, P.C.O., VICTORIA, R.L. Utilização da reserva orgânica e de nitrogênio do tolete de plantio (colmo-semente) no desenvolvimento da cana planta. **Scientia Agricola**. V. 53, p. 199–209, 1995.

CARREIRO, M. M.; SINSABAUGH, R. L.; REPERT, D. A.; PARKHURST, D. F. Microbial enzyme shifts explain litter decay responses to simulated nitrogen deposition. **Ecology**, v. 81, p. 2359-2365, 2000.

CARVALHO, J.L.N.; OTTO, R.; JUNQUEIRA, H.C.; OCHEUZA, P.C. Input of sugarcane post-harvest residues into the soil. **Scientia Agricola**, v. 70, n. 5, p. 336-344, out. 2013 .

CARVALHO, A. M.; DANTAS, R. A.; COELHO, M. C.; LIMA, W. M.; SOUZA, J. P. S. P.; FONSECA, O. P. & GUIMARÃES JÚNIOR, R. 2010. **Teores de hemiceluloses, celulose e lignina em plantas de cobertura com potencial para sistema plantio direto no Cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. 15 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 290).

CARVALHO A. M.; BUSTAMANTE, M. M. C.; SOUSA JUNIOR J. G. A.; VIVALDI L. J. Decomposição de resíduos vegetais em latossolo sob cultivo de milho e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2831-2838, 2008.

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. 2005.

CASTRO, P. R. C. **Fisiologia Aplicada à Cana-de-açúcar**. 1. ed. Piracicaba: STAB, 2016. v. 1. 208p.

CERRI C.C.; GALDOS M.V.; MAIA S.M.F.; BERNOUX M.; FEIGL B.J.; POWLSON D.; CERRI C.E.P. Effect of sugarcane harvesting systems on soil carbon stocks in Brazil: an examination of existing data. **European Journal of Soil Science**, v. 62, p.23-28, 2011.

CHERRY, J.R.; FIDANTSEF, A.L. Directed evolution of industrial enzymes: an update. **Current Opinion in Biotechnology**, v.14, p. 438-443, 2003

CHOWDHURY, N. **Soil microbial activity and community structure as affected by osmotic and matric potential**. 2011, 162p. Tese (Doutorado em Filosofia (Solos)) School of Agriculture Food and Wine, University of Adelaide, Adelaide, Australia, 2011.

COELHO, M. C. **Avaliação da Dinâmica de Decomposição de cana-de-açúcar em solo de Cerrado. Monografia**. 2012, 41p. Monografia (Agronomia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

CONAB (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO). **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. – v.4 - Safra 2017/18, n. 1 - Primeiro levantamento, Brasília, p. 1-57, 2017.

CONDRON, L.; STARK, C.; O'CALLAGHAN, M.; CLINTON, P.; HUANG, Z. The Role of Microbial Communities in the Formation and Decomposition of Soil Organic Matter. In Dixon, G.R.; Tilston, E.L. (eds.), **Soil Microbiology and Sustainable Crop Production**, Netherlands: Springer; 2010. p. 81-118.

COSTA, M. C. G.; VITTI, G. C.; CANTARELLA, H. Volatilização de N-NH₃ de técnicas de cobertura em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 631-637, 2003.

COTRUFO, M.F.; GALDO, I.; PIERMATTEO, D. Litter decomposition: concepts methods and future perspectives. IN: KUTSCH, L. W.; BAHN, M.; HEINEMEYER, A. (Ed.). **Soil carbon dynamics: an integrated methodology**. Cambridge: Cambridge University Press, 2009. p. 76-90

DENG, S. P.; TABATABAI, M. A. Cellulase activity of soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 26, p. 1347-1354, 1994.

DENMEAD, O.T.; MACDONALD, B.C.T.; BRYANT, G.; NAYLOR, T.; WILSON, S.; GRIFFITH, D.W.T.; WANG, W.J.; SALTER, B.; WHITE, I.; MOODY, P.W. Emissions of methane and nitrous oxide from Australian sugarcane soils. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 150, p. 748-756, 2010.

DIETRICH G. **Decomposição e liberação de nitrogênio da palha de cana-de-açúcar em função do ambiente e quantidade de palha**. 2014, 58 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, Santa Maria, RS, 2014.

DÖBEREINER, J.; RUSCHEL, A.P. Uma nova espécie de *Beijerinckia*. **Revista de Biologia**, Lisboa, v.1, p. 261-272, 1958.

DOURADO-NETO, D.; POWLSON, D.; ABU BAKAR, R.; BACCHI, O.O.S.; BASANTA, M.V.; CONG, P.T.; KEERTHISINGHE, G.; ISMAILI, M.; RAHMAN, S.M.; REICHARDT, K.; SAFWAT, M.S.A.; SANGAKKARA, R.; TIMM, L.C.; WANG, J.Y.; ZAGAL, E.; VAN KESSEL, C. Multiseason recoveries of organic and inorganic

nitrogen-15 in tropical cropping systems. **Soil Science Society of America Journal**, v.74, p. 139-152, 2010.

DORNELES JUNIOR, J. D.; ALVES, R.P.; SANTOS, M.R.; RAMOS, R.; RAMOS, N.P.; PRADO, S.S. INFLUÊNCIA DA QUANTIDADE DE PALHA EM CANA-DEAÇÚCAR NA POPULAÇÃO DE *Mahanarva fimbriolata* (Stål, 1854) (Hemiptera: Cercopidae). In: WORKSHOP DE AGROENERGIA, 9., Ribeirão Preto, 2015. **Anais...** Ribeirão Preto: APTA: IAC, 2015.

FARONI, C. E.; VITTI, A. C.; GAVA, G. J. C.; MANZONI, C. S.; PENATTI, C. P.; TRIVELIN, P. C. O. Degradação da palha (15N) de cana-de-açúcar em dois anos consecutivos. In: Congresso Brasileiro de Ciência do solo. **Anais...** (Vol. 29). Ribeirão Preto: Universidade Estadual de São Paulo, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2003 (CD-ROM)

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood chemistry, ultrastructure, reactions**. Berlin: Walter de Gruyter, 1989.

FIERER, N.; SCHIMEL, J.P. 2002. Effects of drying-rewetting frequency on soil carbon and nitrogen transformations. **Soil Biology and Biochemistry**. v.34. p. 777-787, 2002.

FIGUEIREDO, E.B., PANOSSO, A.R., ROMÃO, R., LA SCALA JR., N. Greenhouse gas emission associated with sugar production in southern Brazil. **Carbon Balance and Management**, v. 5, p. 1-7, 2010.

FORTES, C. **Produtividade de cana-de-açúcar em função da adubação nitrogenada e da decomposição da palha em ciclos consecutivos**. 2010, 153 f. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, 2010.

FORTES, C., VITTI, A.C., OTTO, R., FERREIRA, D.A., FRANCO, H.C.J., TRIVELIN, P.C.O. Contribution of nitrogen from sugarcane harvest residues and urea for crop nutrition. **Scientia Agricola**, v. 70, n. 5, p. 313-320, oct. 2013a.

FORTES, C., TRIVELIN, P. C. O., VITTI, A. C., OTTO, R., FRANCO, H. C. J., AND FARONI, C. E. Stalk and sucrose yield in response to nitrogen fertilization of sugarcane under reduced tillage. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 48, p. 88–96, 2013.

FORTES, C.; TRIVELIN P.C.O.; VITTI A.C.; Long-term decomposition of sugarcane harvest residues in Sao Paulo state, Brazil. **Biomass and Bioenergy**, v. 42, p. 189–198, 2012.

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 under Brazilian field conditions. **Field Crops Research**, v. 121, p. 29-41, 2011.

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 Agricola**, v. 67, p. 579-590, 2010.

, H.C.J. **Eficiência agrônômica da adubação nitrogenada de cana-planta**. 2008. 126f. Tese (Doutorado em Agronomia. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas), Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

FRANCO, H.C.J.; TRIVELIN, P.C.O.; FARONI, C.E.; VITTI, A.C.; OTTO, R. 2008. Utilization by sugar cane of nitrogen applied at planting. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. spe, p. 2763-2770, 2008a.

FRANCO, A. A.; NEVES, M. C. P. Fatores limitantes à fixação biológica de nitrogênio. In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. (Eds). **Microbiologia do solo**. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciências do solo, 1992. p. 42-57.

FUENTES-RAMÍREZ, L. E.; JIMÉNEZ-SALGADO, T.; ABARCA-OCAMPO, I. R.; CABALLERO-MELLADO, J. *Acetobacter diazotrophicus*, an indoleacetic acid producing bacterium isolated from sugarcane cultivars of Mexico. **Plant and Soil**, v.154, p.145-150, 1993.

FURTADO, J.; RADAELLI, V. **Instrumento de apoio à P&D em etanol**. In: CORTEZ, L. A. B. Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade. São Paulo: Blucher, 2010.

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.

GONÇALVES, S. L.SARAIVA, O. F.; FRANCHINI, J. C. TORRES, E. **Decomposição de resíduos de aveia e trigo em função do tempo e do manejo do solo**. Londrina: Embrapa Soja, 2010. 18 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / ISSN 1678-6114; n.4).

GUIMARÃES, E. R.; MUTTON, M. A.; MUTTON, M. J. R.; FERRO, M. I. T.; RAVANELI, G. C.; SILVA, J. A. Free proline accumulation in sugarcane under water restriction and spittlebug infestation. **Scientia Agrícola**, v. 65, n. 6, p. 628-633, 2008.

GRAYSTON, S. J.; VAUGHAN, D.; JONES, D. Rhizosphere carbon flow in trees, in comparison with annual plants: the importance of root exudation and its impact on microbial activity and nutrient availability. **Applied Soil Ecology**, v. 5, n. 1, p. 29-56, 1997.

HALSALL, D. M.; GIBSON, A. H. Comparison of two *Cellulomonas* strains and their interaction with *Azospirillum brasilense* in degradation of wheat straw and associated nitrogen fixation. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 51, p. 855-861, 1986 .

HARGROVE, W.L. Environmental, and management factors influencing ammonia volatilization under field conditions. In: Bock, B.R., Kissel, D.E. Ed (s). **Ammonia Volatilization from Urea Fertilizers**. National Fertilizer Development Center, Tennessee Valley Authority: Muscle Shoals, 1988. p. 17- 36.

HILL, M. N.; PATRIQUIN, D.G. Evidence for the involvement of *Azospirillum brasilense* and *Helicomyces roseus* in the aerobic nitrogen-fixing/cellulolytic system from sugarcane litter. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 22, p.313-319, 1990.

HILL, N.M.; PATRIQUIN, D.G. Maximizing N₂ fixation in sugarcane litter. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SUSTAINABLE AGRICULTURE FOR THE TROPICS - THE ROLE OF BIOLOGICAL NITROGEN FIXATION, PROGRAMME AND ABSTRACTS, 1995. Seropédica. **Anais...**, EMBRAPA- CNPAB, 1995. p.59-60.

HOEFSLOOT, G.; TERMORSHUIZEN, A. J.; WATT, D. A.; CRAMER, M. D. Biological nitrogen fixation is not a major contributor to the nitrogen demand of a commercially grown South African sugarcane cultivar. **Plant and Soil**, v. 277, p. 85–96, 2005.

HOLTZ, G. P. **Dinâmica da decomposição da palha e a distribuição do carbono, nitrogênio e fósforo numa rotação de culturas sob plantio direto na região de Carambeí/PR**. 129f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.

JENSEN, L.S.; SALO, T.; PALMASON, F.; BRELAND, T.A. HENRIKSEN, T.M.; BO STENBERG, B.; PEDERSEN, A.; LUNDSTROM, C.; ESALA, M. Influence of biochemical quality on C and N mineralization from a broad variety of plant materials in soil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.273, p. 307-326, 2005.

KINGSTON, G. Mineral Nutrition of Sugarcane. In: P. H. MOORE.; F. C. BOTHA (Eds). **“Mineral nutrition of sugarcane” in Sugarcane: Physiology, Biochemistry, and Functional Biology**. Oxford: John Wiley & Sons, 2014. p. 85–120.

KINJO, T.; PRATT, P.F. Nitrate adsorption: II. In competition with chloride, sulphate, and phosphate. **Soil Science Society of America. Proceedings**, Madison, v.35, p.725-728, 1971.

LADHA, J.K. Studies on N₂ fixation by free-living and rice plant associated bacteria in wetland rice field. **Bionature**, v. 6, p. 47-58, 1986.

LAMBAIS, M.R. In silico differential display of defense-related expressed sequence tags from sugarcane tissues infected with diazotrophic endophytes. **Genetics and Molecular Biology**, v.24, n. 1-4, p. 103-111, 2001.

LIANG, B.C. et al. Management induced change in labile soil organic matter under continuous corn in eastern canadian soils. **Biology and Fertility of Soils**, New York, v. 26, p. 88-94, 1998.

LINCOLN, N. K.; VITOUSEK, P. Nitrogen fixation during decomposition of sugarcane (*Saccharum officinarum*) is an important contribution to nutrient supply in traditional dryland agricultural systems of Hawai'i. **International Journal of Agricultural Sustainability**, v.14, n.2, p. 214-230, 2016.

LORA, E.E.S., PALACIO, J.C.E., ROCHA, M.H., RENÓ, M.L.G., VENTURINI, O.J., OLMO, O.A. Issues to consider, existing tools and constraints in biofuels. **Energy**, v. 36, p. 2097-2110, 2011.

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, Viçosa**, v. 32, n. 2, p. 789-800, 2008.

LYND, L.R.; WEIMER, P.J.; VAN ZYL, W.H.; PRETORIUS, I.S. Microbial cellulose utilization: fundamentals and biotechnology. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, v. 66, p. 506–577, 2002.

MAGALHÃES, P. S. G.; BRAUNABECK, O. A. **Bioetanol de Cana-de-Açúcar: P&D para Produtividade Sustentabilidade**. In Cortez, L. A. B (Ed). Edgard Blücher Ltda: São Paulo, 2010, cap. 1 parte 3.

MALAVOLTA, E.; MORAES, M. Nitrogênio na agricultura brasileira. In: LAPIDO-LOUREIRO, F. E.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, J. (Ed.). **Fertilizantes, agroindústria e sustentabilidade**. rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2009. p. 211-255.

MALUF, A. B.; SÁNCHEZ, C.G. Avaliação termoeconômica da cogeração e da geração no setor sucroenergético. **Revista Ciência e Tecnologia**, v. 18, n. 33, p. 37-47, 2015.

MANECHINI, C.; JÚNIOR, A. R.; DONZELLI, J. L. Benefits and problems of trash left in the Field. In: HASSUANI, S. J., VERDE LEAL, M. R. L., MACEDO, I. C. (Eds). 59. **Biomass power generation: sugar cane bagasse and trash**. Project BRA/96/G31 PNUD –CTC. Unipress Disc Records do Brasil, Série Caminhos para Sustentabilidade, Piracicaba, São Paulo, 2005. Cap. 3, p. 27-35.

MAPA-Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Notícias. Brasil, 2017. Disponível em:
< <http://www.agricultura.gov.br/noticias/valor-da-producao-agropecuaria-de-2017-e-estimado-em-r-548-milhoes-o-maior-em-30-anos>>. Acesso em: 15 mar. 2017.

MARIANO, E.; TRIVELIN, P.C.O.; VIEIRA, M.X.; LEITE, J.M.; OTTO, R.; FRANCO, H.C.J. Ammonia losses estimated by an open collector from urea applied to sugarcane straw. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 2, p. 411-419, 2012.

MATSUOKA, S.; BRESSIANI, J. A.; MACCHERONI, W.; FOUTO, I. Bioenergia da Cana. In: **Cana-de-açúcar: Bioenergia, Açúcar e Alcool**. Santos. F.; BORÉM, A. E CALDAS, C. (Eds). 2 ed.Viçosa: UFV, v.1. p. 487-517, 2012.

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.

MENANDRO, L. M. S. **Caracterização e aproveitamento agrônômico e industrial de ponteiros e folhas secas da cana-de-açúcar**. 2016. 72f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agrônômico de Campinas, Campinas, 2016.

MITCHELL, R.D.J., THORBURN, P.J. e LARSON, P. Quantifying the immediate loss of nutrients when sugarcane residues are burnt. In: **Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists**, 2000. p. 206–211.

MONTEIRO, R.A.; BALSANELLI, E.; WASSEN, R.; MARIN, A.M.; RUSAMARELLOSANTOS, L.C.C.; SCHMIDT, M.A.; TADRA-SFEIR, M.Z.; PANKIEVICZ, V.C.S.; CRUZ, L.M.; CHUBATSU, L.S.; PEDROSA, F.O.; SOUZA, E.M. *Herbaspirillum*-plant interactions: microscopical, histological and molecular aspects. **Plant Soil**, v. 356, n.1, p. 175-196, 2012.

MOORHEAD, D.L.; SINSABAUGH, R.L. A theoretical model of litter decay and microbial interaction. **Ecological Monographs**, v.76, p. 151–174, 2006.

MORAES, G. D. C.; N. P.; PIRES, A. M. M.; VIEIRA, H. B.; HIRANO, R. T.; ROSETTO, R. Impacto do manejo da palha sobre sua decomposição em área cultivada com cana-de-açúcar no município de Guairá – SP. In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 8. 2014, Campinas. **Anais...**Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, 2014. 9p.

MORAES, G. D. C.; SILVA, J. L.; VIEIRA, H. B.; STANCATTE, R.S.; RAMOS, N.P. Prospecção de microrganismos celulolíticos e ligninolíticos para manejo em campo da palhada de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 9. 2015. Campinas. **Anais...**Campinas, Instituto Agrônômico de Campinas, 2014. 8p.

MOREIRA, F.M. de S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2.ed. atual e ampl. Lavras: UFLA, 2006. 729p.

MOREIRA, F. M. S.; SILVA, K.; NÓBREGA, R. S. A.; CARVALHO, F. Bactérias diazotróficas associativas: diversidade, ecologia e potencial de aplicações. **Comunicata Scientiae**, v.1, n.2, p.74-99, 2010.

NASCIMENTO, C. A. C. **Ureia recoberta com S, Cu e B em soca de cana-de-açúcar colhida sem queima**. 2012. 72f. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade Federal de São Paulo, Piracicaba. 2012.

NEILANDS, J. B.; LEONG, S. A. Siderophores in relation to plant growth and disease. **Annual Reviews in Plant Physiology**, v. 37, n. 1, p. 187-208, 1986.

NG KEE KWONG, K.F.; DEVILLE, J.; CAVALOT, P.C.; RIVIERE, V. Value of cane trash in nitrogen nutrition of sugarcane. **Plant and Soil**, v. 102, p. 79-83, 1987.

NÖMMIK H, VAHTRAS K. Retention and fixation of ammonium and ammonia in soils. In: Stevenson FJ (ed) Nitrogen in agricultural soils. **Agronomy Society of America**, v.1, p. 123–161, 1982.

OLIVEIRA, E. C. A.; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, I. O.; 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, n.4, p.1343-1352, 2010.

OLIVEIRA, A. L. M.; CANUTO, E. L.; URQUIAGA, S.; REIS, V. M.; BALDANI J. I. Yield of micropropagated sugarcane varieties in different soil types following inoculation with endophytic diazotrophic bacteria. **Plant and Soil**, v.284, n.1-2, p.23-32, 2006.

OLIVEIRA, A. L. M.; CANUTO, E. L.; REIS, V. M.; BALDANI J. I. Response of micropropagated sugarcane varieties to inoculation with endophytic diazotrophic bacteria. **Brasilian Journal Microbiology**, v.34, p.59-61, 2003.

OLIVEIRA, M., TRIVELIN, P., KINGSTON, G., BARBOSA, M., VITTI, A. & HOGARTH, D. Decomposition and release of nutrients from sugarcane trash in two agricultural environments in Brazil. **Proceedings of the Conference of Australian Society of Sugar Cane Technologists**, Brisbane, p. 40, 2002.

OLIVEIRA, M.W., TRIVELIN, P.C.O., PENATTI, C. P. & DE CÁSSIA PICCOLO, M. Decomposição e liberação de nutrientes da palhada de cana-de-açúcar em campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 12, p. 2359-2362, 1999a.

OLIVEIRA, M. W. D.; TRIVELIN, P. C. O.; GAVA, G. J. D. C.; PENATTI, C. P. Degradação da palhada de cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, v. 56, n. 4, p. 803-809, 1999.

OHYAMA, T., MOMOSE, A., OHTAKE, N., SUEYOSHI, K., SATO, T., NAKANISHI, Y., ANDO, S. Nitrogen Fixation in Sugarcane. In T. Ohyama (Ed). **Advances in Biology and Ecology of Nitrogen Fixation**, 2014. p. 47–70.

PARAISO, M. L.S.; GOUVEIA, N. Health risks due to pre-harvesting sugarcane burning in São Paulo State, Brazil. **Revista brasileira de Epidemiologia**, v. 18, n. 3, p. 691-701, 2015.

PATRIQUIN, D. G. Nitrogen fixation in sugar cane litter. **Biological Agriculture and Horticulture**, v. 1, n. 1, p. 39–64, 1982.

PAUNGFUO-LONHIENNE, C., YEOH, Y.K., KASINADHUNI, N.R.P., LONHIENNE, T.G.A., ROBINSON, N., HUGENHOLTZ, P., RAGAN, M.A.; SCHMIDT. S. **Nitrogen fertilizer dose alters fungal communities in sugarcane soil and rhizosphere**. 2015. (Scientific Reports, 5).

PENATTI, C. P. **Adubação da cana-de-açúcar - 30 anos de experiência**. 1. ed. Itu, SP, Brazil: Editora Ottoni, 2013. p. 347.

PERES, J. G.; SOUZA, C.F.; LAVORENTI, N.A. Avaliação dos efeitos da cobertura de palha de cana-de-açúcar na umidade e na perda de água no solo. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 5, p. 875-886, 2010.

PÉREZ, J.; MUÑOZ-DORADO J.; RUBIA, T. de la; MARTINEZ, J. Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicellulose, and lignin: an overview. **International Microbiology**, v.5, p.53-63, 2002.

PETERSEN, H.; LUXTON, M. A comparative analysis of soil fauna populations and their role in decomposition processes. In: PETERSEN, H. (Ed). **Quantitative ecology of microfungi and animals in soil and litter**. Oikos, v. 39, n. 3, p. 287-388, 1982.

POLIDORO, J. C. **O molibdênio na Nutrição Nitrogenada e na Fixação Biológica de Nitrogênio Atmosférico Associada à cultura de cana de açúcar**. 2001. 184f. Tese (Doutorado em Agronomia Ciência do solo). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2001.

POTRICH, D.C. **DECOMPOSIÇÃO DE RESÍDUOS CULTURAIS SUBMETIDOS A DIFERENTES DOSES DE NITROGÊNIO**. 2012, 25f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Federal DA Grande Dourados, Dourados, 2012.

POTTHOFF, M.; DYCKMANS, J.; FLESSA, H.; MUHS, A.; BEESE, F.; JOERGENSEN, R.G. Dynamics of maize (*Zea mays* L.) leaf straw mineralization as affected by the presence of soil and the availability of nitrogen. **Soil Biology and Biochemistry**, v.37, p.1259-1266, 2005.

PULROLNIK, K. **Transformações de carbono no solo**. 2009. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2009. 36p. (Documentos, 264)

RACHID, C.T.C.C.; PIRES, C.A.; LEITE, D.C.A.; COUTINHO, H.L.C.; PEIXOTO, R.S.; ROSADO, A.S.; SALTON, J.; ZANATTA, J.A.; MERCANTE, F.M.; ANGELINI, G.A.R.; BALIEIRO, F.C. Sugarcane trash levels in soil affects the fungi but not bacteria in a short-term field experimente. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 47, n. 2, p. 322-326, 2016

RAZAFIMBELO, T.A., BARTHE, A. B., LARRE´-LARROUY, M.A., LUCA, E.F.B., LAURENT J.A., CERRI, C.C., FELLER, C., Effect of sugarcane residue management (mulching versus burning) on organic matter in a clayey Oxisol from southern Brazil, **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 115, p. 285–289, 2006.

RAMOS,N. P.; YAMAGUCHI, C. S.; PIRES, A. M. M.; ROSSETTO, R.; POSSENTI, R. A.; PACKER, A. P.C.; CABRAL, O. M. R.; ANDRADE, C. A. de.Decomposição de palha de cana-de-açúcar recolhida em diferentes níveis após a colheita mecânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1492-1500, 2016.

RAMOS, R.; STANCATTE, R.; VIEIRA, H. B.; ROSSI, P.; DEGASPARI, I.; GOMES, G. V.; RAMOS N. P. Dinâmica de decomposição de palha sob taxas variadas de recolhimento em canavial de segunda soca – Guaíra – SP. In: WORKSHOP DE AGROENERGIA, 9., Ribeirão Preto, 2015. **Anais...** Ribeirão Preto: APTA: IAC, 2015.

REIS, V. M.; BALDANI, J. I.; URQUIAGA, S. **Recomendação de uma mistura de estirpes de cinco bactérias fixadoras de nitrogênio para inoculação de cana de açúcar**. 2009. Seropédica, Embrapa Agrobiologia, 2009. 4p. (Circular Técnica, 30).

RIPOLI, T.C.C.; MOLINA JR., W.F. & RIPOLI, M.J.C. Energy potential of sugar cane biomass in Brazil. **Scientia Agricola**, v. 57, p. 677-681, 2000.

ROBERTSON, F.A.; THORBURN, P.J. Decomposition of sugarcane harvest residue in different climatic zones. **Australian Journal of Soil Research**, v.45, p.1-11, 2007.

ROBERTSON, F. A.; THORBURN, P. J. Management of sugarcane harvest residues: Consequences for soil carbon and nitrogen. **Australian Journal of Soil Research**, v. 45, n. 1, p. 13–23, 2007a.

ROBERTSON, F.; NASH, D. Limited potential for soil carbon accumulation using current cropping in Victoria, Australia. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 165, p. 130-140, 2013.

RONQUIM, C.S. **Queimada na colheita de cana-de-açúcar: impactos ambientais, sociais e econômicos**, Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010. 45 p. (Embrapa Monitoramento por Satélite. Documentos, 77).

ROPER, M.M.; LADHA, J.K. Biological N₂ fixation by heterotrophic and phototrophic bacteria in association with straw. **Plant and Soil**, v.174, p.211– 224, 1995.

ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 86p.

ROSSETTO, R.; VITTI, A.C.; GAVA, G.J.C.; MELLIS E.V.; VARGAS V.P.; CANTARELLA, H.; PRADO, H. do; DIAS, F.L.F.; LANDELL, M.G.A.; BRANCALIÃO, S.R.; GARCIA J.C. Cana-de-açúcar: cultivo com sustentabilidade. **Informações Agrônomicas**, n.142, p.1-13, 2013.

ROSSETTO, R.; CANTARELLA, H.; DIAS, F.L.F.; VITTI, A.C.; TAVARES, S. Cana-de-açúcar. In: PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R. (Ed.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. Piracicaba, Cap. 5, v. 3, p. 160-230, 2010.

ROSSETTO, R.; DIAS, F. L. F.; LANDELL, M. G. A.; CANTARELLA, H.; TAVARES, S.; VITTI, A. C.; PERECIN, D. N and K fertilisation of sugarcane ratoons harvested without burning. **Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists**, v. 27, p. 1– 8, 2010a.

ROSSETTO, R.; KORNDORFER, G.H.; DIAS, F.L. Nutrição e adubação da cana-de-açúcar. In: Marques, M.O.; Mutton, M.A.; Nogueira, T.A.R.; Tasso Jr., L.C.; Nogueira, G.A.; Bernardi, J.H (Eds). **Tecnologias na Agroindústria Canavieira**. FCAV, Jaboticabal, SP. p. 125- 139. 2008.

SANTANA, J. A.S., DE ALMEIDA VIEIRA, F., DA SILVA SOUTO, J., GONDIM, S. C., e DA FONSECA, F. D. C. E. Decomposição da biomassa foliar de cana-de-açúcar

em um Neossolo na região de Areia-PB. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 3, p. 28-32, 2011.

SANTOS, F. A.; QUEIRÓZ, J.H.D.; COLODETTE, J.L.; FERNANDES, S.A.; GUIMARÃES, V.M.; REZENDE, S.T. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. **Química Nova**, v. 35, n. 5, p. 1004-1010, 2012.

SANTOS, H.G. dos; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; OLIVEIRA, J.B. de; COELHO, M.R.; LUMBRERAS, J.F.; CUNHA, T.J.F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo ecossistemas tropicais e subtropicais**. 1. ed. Porto Alegre: Ed. Genesis, 1999. 491 p.

SÃO PAULO (Estado). Leis, decretos, etc. Decreto nº 47.700, de 11 de março de 2003. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, 12 mar. 2003. Seção I, v.113, n.46, p.1-2. Regulamenta a Lei nº 11.241 de 19 de setembro de 2002 que dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar e dá providências correlatas.

SCHULTZ, N.; PEREIRA, W.; REIS, V M.; URQUIAGA, S.S. Produtividade e diluição isotópica de ¹⁵N em cana-de-açúcar inoculada com bactérias diazotróficas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1594-1601, 2016.

SCHULTZ, N. **Fixação biológica de nitrogênio associada à cultura de cana de açúcar: eficiência e contribuição da inoculação com bactérias diazotróficas**. 2012.126f. Tese (Doutorado em em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro, 2012.

SCHULTZ, N.; MORAIS, R.F.; SILVA, J.A.; BAPTISTA, R.B.; OLIVEIRA, R.P.; LEITE, J.M.; PEREIRA, W.; CARNEIRO JÚNIOR, J.B.; ALVES, B.J.R.; BALDANI J.I.; BODDEY, R.M.; URQUIAGA, S.; REIS, VM. Avaliação agrônômica de duas variedades de cana-de-açúcar inoculadas com bactérias diazotróficas e adubadas com nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 261-268, 2012a.

SCHULTZ, N.; LIMA, E.; PEREIRA, M.G. & ZONTA, E. Efeito residual da adubação na cana-planta e da adubação nitrogenada e potássica na cana-soca colhidas com e sem a queima da palha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 811 - 820, 2010.

SELIM, H. M.; NEWMAN, A.; ZHANG, L.; ARCENEUX, A.; TUBAÑA, B.; GASTON, L. A. Distributions of organic carbon and related parameters in a Louisiana sugarcane soil. **Soil and Tillage Research**, v. 155, p. 401-411, 2016.

SIGNOR, D. Estoques de carbono e nitrogênio e emissões de gases do efeito estufa em áreas de cana-de-açúcar na região de Piracicaba. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Planta) Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

SILVESTER, W.B.; MUSGRAVE, D.R. Free-living diazotrophs. In: Dilworth, M.J., Glenn, A.R. (Eds). **Biology and Biochemistry of Nitrogen Fixation**. Elsevier, New York, 1991.p. 162–186.

SINGH, K.P.; SUMAN, A.; SINGH, P.N.; LAL, M. Yield and soil nutrient balance of sugarcane plant-ratoon system with conventional and organic nutrient management in subtropical India. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 79, p.209-219, 2007.

SIQUEIRA, J.O.; FRANCO, A.A. **Biotecnologia do solo: Fundamentos e perspectivas**. Brasília, MEC; ABEAS; ESAL; FAEPE, 1988. 236p.

SMITH, J.H.; DOUGLAS, C.L. Influence of residue nitrogen on wheat straw decomposition in the field. **Soil Science**, v.106, p. 456-459, 1968.

SOUZA JUNIOR, J. G. A. **Decomposição de diferentes doses de palha de cana-de-açúcar e seu efeito sobre o carbono do solo**. 2015.91f. Tese (Doutorado em Química na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

SOARES, J. R.; CANTARELLA, H.; VARGAS, V. P.; CARMO, J. B.; MARTINS, A. A.; SOUSA, R. M.; ANDRADE, C. A. Enhanced-efficiency fertilizers in nitrous oxide emissions from urea applied to sugarcane. **Journal of Environmental Quality**, v.44 p. 423-430, 2014.

SOUZA R. A.; TELLES, T.S.; MACHADO, W.; HUNGRIA, M.; FILHO, J.T.; GUIMARÃES, M.F. Effects of sugarcane harvesting with burning on the chemical and microbiological properties of the soil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.155, p. 1–6, 2012.

SOUZA, E. D.; COSTA, S. E. V. G. A.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; ANDRIGUETI, M.; CAO, E. Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1829-1836, 2009.

SPAIN, A. V.; HODGEN, M. J. Changes in the composition of sugarcane harvest residues during decomposition as a surface mulch. **Biology and fertility of soils**, v. 17, n. 3, p. 225-231, 1994.

STANCATTE, R.; RAMOS, R.; MORAES, G. de Cia.; ROSSI, P.; VIEIRA, H. B.; ROSSETTO, R.; PACKER, A. P.; RAMOS N. P. Decomposição de palha de cana-de-açúcar em cultivo de primeira soca - Iracemápolis – SP. In: WORKSHOP DE AGROENERGIA, 9., Ribeirão Preto, 2015. **Anais...** Ribeirão Preto: APTA: IAC, 2015.

STRONG, D. T.; FILLERY, I. R. P. Denitrification response to nitrate concentrations in sandy soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v.24, p.945-954, 2002.

SUMAN, A.; GAUR, A.; SHRIVASTAVA, A. K.; YADAV, R. L. Improving Sugarcane Growth and Nutrient Uptake by Inoculating *Gluconacetobacter diazotrophicus*. **Plant Growth Regulation**, v. 47, n. 2-3, p. 155–162, 2005.

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

TAKENAK, A., COLIN G.D., KUDO, H.; IBASH I., CHENG, K. Molecular cloning, expression, and characterization of an endo-beta-1,4-glucanase cDNA from *Epidinium caudatum*. **The Journal of General and Applied Microbiology**, v. 45, n.2, p. 57-61, 1999.

TASCA, F.A., P.R. ERNANI, D.A. ROGERI, L.C. GATIBONI AND P.C. CASSOL. Ammonia volatilization following soil application of conventional urea or urea with urease inhibitor. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 35, p. 493-502, 2011.

TAULE, C.; MAREQUE, C.; BARLOCCO, C.; HACKEMBRUCH, F.; REIS, V. M.; SICARDI, M.; BATTISTONI, F. The contribution of nitrogen fixation to sugarcane (*Saccharum officinarum* L.), and the identification and characterization of part of the associated diazotrophic bacterial community. **Plant and Soil**, v. 356, p. 35–49, 2012.

TELEMAN A. Hemicelluloses and Pectins. In: Ek M, Gellerstedt G, Henriksson G (eds) **Wood Chemistry and Biotechnology**. Walter de Gruyter, Berlin, 2009.p 102–120.

THOMAS, R. J.; ASAKAWA, N. M. Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 23 p. 1351-1361, 1993.

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

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

TRIVELIN, P. C. O., FRANCO, H. C. J., OTTO, R., FERREIRA, D. A., VITTI, A. C.; FORTES, C., FARONI, C.E.; OLIVEIRA, E.C.A.; CANTARELLA, H. Impact of sugarcane trash on fertilizer requirements for São Paulo, Brazil. **Scientia Agricola**, v. 70, p. 345–352, 2013.

TRIVELIN, P. C. O.; VITTI A. C. **Manejo do Nitrogênio e Enxofre na nutrição e adubação da cana-de-açúcar**. CENA/USP, 2006. 47 p.

TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C.; OLIVEIRA, M. D.; GAVA, G. J. C.; SARRIÉS, G. A. Utilização de nitrogênio e produtividade da cana-de-açúcar (cana-planta) em solo arenoso com incorporação de resíduos da cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 637-646, 2002.

TURN, S.Q.; JENKINS, B.M.; CHOW, J.C.; PRITCHETT, L.C.; CAMPBELL, D.; CAHILL, T.; WHALEN, S.A. Elemental characterization of particulate matter emitted from biomass burning: Wind tunnel derived source profiles for herbaceous and wood fuels. **Journal of Geophysical Research**, v. 102, p. 2683- 2699, 1997.

UNKOVICH, M.; HERRIDGE, D.; PEOPLES, M.; CADISCH, G.; BODDEY, R.; GILLER, K.; ALVES, B.; CHALK, P. **Measuring plant-associated nitrogen fixation in agricultural systems**. Canberra: Australian Centre for International Agricultural, 2008. 258p.

URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; OLIVEIRA, O. C.de; LIMA, E.; GUIMARÃES, D. H. V. **A Importância de não Queimar a Palha na Cultura de Cana-de-açúcar**. EMBRAPA/CNPBS, 1991. 6p. (Comunicado Técnico 5).

URQUIAGA, S.; CRUZ, K. H. S.; BODDEY, R. M. Contribution of nitrogen fixation to sugar cane: nitrogen-15 and nitrogen balance estimates. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, p.105-114, 1992.

URQUIAGA, S. XAVIER, R.; MORAIS, R. F.; BATISTA, R.; SCHULTZ, N.; LEITE, J. M.; RESENDE, A.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Evidence from field nitrogen balance and 15 N natural abundance data of the contribution of biological N₂ fixation to Brazilian sugarcane varieties. **Plant and Soil**, 2011.

URQUIAGA, S.; XAVIER, R.P.; MORAIS, R.F.; BATISTA, R.B.; SCHULTZ, N.; LEITE, J.M.; SÁ, J.M.; BARBOSA, K.P.; RESENDE, A.S.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M. Evidence from field nitrogen balance and 15N natural abundance data for the contribution of biological N₂ fixation to Brazilian sugarcane varieties. **Plant and Soil**, v.356, p.5-21, 2012.

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.

VALLIS, I.; KEATING, B.A. Uptake and loss of fertilizer and soil nitrogen in sugarcane crops. **Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists**, v. 16, p. 105-113, 1994.

VIEIRA-MEGDA, M. X.; MARIANO, E.; LEITE, J. M.; et al. Contribution of fertilizer nitrogen to the total nitrogen extracted by sugarcane under Brazilian field conditions. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 101, p. 241–257, 2015.

VILLALBA, H. A. G.; LEITE, J. M.; OTTO, R.; TRIVELIN, P.C.O. Fertilizantes nitrogenados: novas tecnologias. **Informações Agronômicas**, v. 148, p. 12–20, 2014.

VITTI, A. C.; FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O.; FERREIRA, D. A.; OTTO, R.; FORTES, C.; FARONI, C. E. Nitrogênio proveniente da adubação nitrogenada e de resíduos culturais na nutrição da cana-planta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 3, p. 287– 293, 2011b.

VITTI, A.C.; FERREIRA, D.A.; FRANCO, H.C.J.; FORTES, C.; OTTO, R.; FARONI, C.E.; TRIVELIN, P.C.O. Utilisation of nitrogen from trash by sugarcane ratoons. **Sugarcane International**, v. 28, p. 249-253, 2010.

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 palha 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.

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 Ciência do Solo**, v. 31, n. 3, p. 491-498, 2007a.

VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O.; GAVA, G.J.C.; PENATTI, C.P.; BOLOGNA, I.R.; FARONI, C.E.; FRANCO, H.C.J. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada ao nitrogênio residual da adubação e do sistema radicular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 2, p. 249-256, 2007.

VITOUSEK, P. M.; HOWARTH, R.W. Nitrogen limitation on land and in the sea: how can it occur? **Biogeochemistry**, v. 13, p. 87–115, 1991.

VITOUSEK, P.M. Nutrient cycling and limitation: Hawai'i as a model system. Princeton University Press, Princeton, NJ, 2004.

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 (Eds). **Principles and applications of soil microbiology**. New Jersey: Prentice Hall, 1999. p. 218-256.

WATKINSON, S.C.; DAVISON, E.M.; BRAMAH, J. The effect of nitrogen availability on growth and cellulolysis by *Serpula lacrimans*. **New Phytologist Journal**, v. 89, p. 295–305, 1981.

WELBAUM, G.; STURZ, A.V.; DONG, Z.; NOWAK, J. Fertilizing soil microorganisms to improve productivity of agroecosystems. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v.23, p. 175–193, 2004.

WELLER DM. *Pseudomonas* biocontrol agents of soilborne pathogens: Looking back over 30 years. **Phytopathology**, v.97, p. 250–256, 2007.

WONG, P., STENBERG, N. E.; EDGAR, L.Characterization of a bacterium of the genus *Azospirillum* from cellulolytic nitrogen fixing mixed cultures. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 26, p. 291-296, 1980.

YADAV, R. L.; SUMAN, A.; PRASAD, S. R.; PRAKASH, O. Effect of *Gluconacetobacter diazotrophicus* and *Trichoderma viride* on soil health, yield and N-economy of sugarcane cultivation under subtropical climatic conditions of India. **European Journal of Agronomy**, v. 30, p. 296–303, 2009.

YAMAGUCHI, C.S. **Decomposição da palha de cana-de-açúcar em função da quantidade aportada e da aplicação de vinhaça**. 2015. 68f. Dissertação de Mestrado (Mestre em Agricultura Tropical e Subtropical), Instituto Agrônomo, Campinas, 2015.

YAMAUTI, M. S.; BARROSO, A.A.M.; GIANCOTTI, P.R.F.; SQUASSONI, V.L.; REVOLTI, L.T.M.; ALVES, P.L.C.A Emergência De Plantas Daninhas Em Função Da Posição da Semente e Quantidade De Palha de Cana-de-Açúcar. **Scientia Agraria**, v. 12, n. 2, abr. 2011.

ZEHR, J.P., JENKINS, B.D., SHORT, S.M. Nitrogenase gene diversity and microbial community structure: a cross-system comparison. **Environmental Microbiology**, v. 5, p. 539–554, 2003.

ZHANG, D.; HUI, D.; LUO, Y.; ZHOU, G. Rates of litter decomposition in terrestrial ecosystems: global patterns and controlling factors. **Journal of Plant Ecology**, v.1, p.85-93, 2008.

ZHEN-YI, H.; WANG, Y.; HANEKLAUS, S.; SCHNUG, E. Agronomic assessment of premium fertilizers. In: WORLD FERTILIZER CONGRESS OF CIEC, 16., Rio de Janeiro, 2014. Technological innovation for a sustainable tropical agriculture. **Proceedings...** Rio de Janeiro: CiEC, 2014. p. 79-80.