

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**DECOMPOSIÇÃO E LIBERAÇÃO DE NITROGÊNIO  
DA PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR EM FUNÇÃO DO  
AMBIENTE E QUANTIDADE DE PALHA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Guilherme Dietrich**

**Santa Maria, RS, Brasil.**

**2014**

**DECOMPOSIÇÃO E LIBERAÇÃO DE NITROGÊNIO DA  
PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR EM FUNÇÃO DO  
AMBIENTE E QUANTIDADE DE PALHA**

**Guilherme Dietrich**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração Biodinâmica e Manejo do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS),  
Como requisito parcial para a obtenção do grau de  
**Mestre em Ciência do Solo.**

**Orientador: Dr. Sandro José Giacomini**

**Santa Maria, RS, Brasil.**

**2014**

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**DECOMPOSIÇÃO E LIBERAÇÃO DE NITROGÊNIO DA PALHA DE  
CANA-DE-AÇÚCAR EM FUNÇÃO DO AMBIENTE E QUANTIDADE  
DE PALHA**

elaborada por  
**Guilherme Dietrich**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Ciência do Solo**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

**Sandro José Giacomini, Dr.**  
(Presidente/Orientador)

**Marciel Redin, Dr. (UFSM)**

**Sérgio Delmar dos Anjos e Silva, Dr. (EMBRAPA)**

Santa Maria, 28 de julho de 2014.

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pela força e coragem para continuar sempre pelo caminho do bem.

Aos meus pais Lauri e Marina, pelo apoio, carinho, educação e pela confiança depositada em mim.

À minha irmã Gabriela, pela amizade, carinho e companheirismo.

Aos amigos Crístian e Angélica, sem vocês os apartamentos 1118 e 303 não seriam os mesmos.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Departamento de Solos, pelo acolhimento durante estes sete anos.

À CAPES, pela bolsa de estudo concedida.

Ao professor orientador Dr. Sandro José Giacomini, pela orientação, pelos ensinamentos passados e pela amizade.

Aos professores do PPGCS pelos ensinamentos durante a realização deste curso.

Aos colegas e ex-colegas pós-graduandos do LABCEN: Getúlio, Douglas, Janquiel, Rosângela, Alessandra, Alex, Doneda, Maiara, Ricardo, Daniela, Pedro, Rogério, Paola, Diego, Stefen, Cantú, Ezequiel, Majid, Eduardo e Redin, pela amizade, momentos de descontração e ensinamentos compartilhados.

Aos demais colegas e amigos de curso, pela amizade.

Em especial aos bolsistas e ex-bolsistas de iniciação científica do LABCEN: Adriane, Aílson, Bruno, Cledir, Roberta, Frederico, Heitor, Isaías, Ismael, José, Leonardo, Michael, Luana, Maurício, Raquel, Willian e Alessandra. Muito obrigado a todos vocês pelo auxílio na realização deste trabalho e, sobretudo pela amizade, convívio e pelos momentos de alegria proporcionados por vocês.

Aos bolsistas e ex-bolsistas do grupo do professor Dr. Celso Aita, pela amizade, convívio e momentos de descontração.

Aos funcionários do Departamento de Solo, Rose, Eunice, Héverton, Finamor, Paulinho e Michel, pela amizade e pela ajuda.

À banca examinadora deste trabalho, composta pelo pesquisador Dr. Sérgio Delmar dos Anjos e Silva, Dr. Sandro José Giacomini e pelo Dr. Marciel Redin, pelas considerações e contribuições.

**A todos vocês, muito obrigado!**

“O que prevemos raramente ocorre, o que menos esperamos geralmente acontece.”  
(Benjamin Disraeli)

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito.  
Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes.”  
(Marthin Luther King)

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar.  
Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.”  
(Madre Teresa de Calcutá)

“A ciência nunca resolve um problema sem criar pelo menos outros dez”.  
(George Bernard Shaw)

“Se o dinheiro for a sua esperança de independência, você jamais a terá. A única segurança verdadeira consiste numa reserva de sabedoria, de experiência e de competência.”  
(Henry Ford)

“Se puderes, ajude os outros; se não o puderes fazer, ao menos não lhes faça mal.”  
(Dalai Lama)

## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo  
Universidade Federal de Santa Maria

### **DECOMPOSIÇÃO E LIBERAÇÃO DE NITROGÊNIO DA PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR EM FUNÇÃO DO AMBIENTE E QUANTIDADE DE PALHA**

AUTOR: GUILHERME DIETRICH  
ORIENTADOR: SANDRO JOSÉ GIACOMINI

Local e data da defesa: Santa Maria, 28 de julho de 2014.

Os resíduos culturais da cultura da cana-de-açúcar se destacam como importante fonte de biomassa para a produção do etanol celulósico no Brasil. No entanto, há uma carência de estudos sobre o impacto que a retirada parcial desses resíduos causa na decomposição dos resíduos culturais remanescentes na superfície do solo. Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar a decomposição e liberação de nitrogênio (N) dos resíduos culturais de cana-de-açúcar em condições de campo em função de três diferentes quantidades de resíduos e em cinco ambientes do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. O estudo foi realizado no período de setembro de 2012 a agosto de 2013, nos municípios de Porto Xavier, São Luiz Gonzaga, Salto do Jacuí, Santa Maria e Pelotas. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com 4 repetições. Para monitorar o processo de decomposição, a palha da cana RB 956911, seca ao ar, foi colocado em quantidades equivalentes a 4, 8 e 12 Mg ha<sup>-1</sup> em quadros de madeira telados, os quais foram depositados no interior do canavial e recolhidas mensalmente durante um período de 360 dias. Nos materiais coletados, foram feitas determinações das quantidades remanescentes de matéria seca (MS) e da sua concentração de C e N. Na palha coletada em Santa Maria foram também determinados os teores de hemicelulose (HEM), celulose (CEL) e lignina (LIG) Aos valores obtidos de MS e C remanescentes foi ajustado modelo de regressão não linear. Os resultados deste estudo demonstram que a quantidade de resíduos de cana-de-açúcar depositada na superfície do solo não afeta a decomposição, liberação de carbono e nitrogênio, e também a decomposição dos compostos bioquímicos (celulose, hemicelulose e lignina) presentes na palha. No entanto, foi demonstrado que o local de estudo exerce influência na decomposição e liberação de carbono e nitrogênio dos resíduos, sendo a precipitação o principal fator controlador do processo de decomposição.

**Palavras-chave:** Compostos bioquímicos. Colheita mecanizada. Resíduos culturais. Matéria seca remanescente.

## **ABSTRACT**

Master's Dissertation  
Graduate Program in Soil Science  
Federal University of Santa Maria

### **DECOMPOSITION AND RELEASE OF NITROGEN FROM SUGARCANE STRAW IN RELATION TO ENVIRONMENT AND QUANTITY OF STRAW**

AUTHOR: GUILHERME DIETRICH  
SUPERVISOR: SANDRO JOSÉ GIACOMINI

Place and date of defense: Santa Maria, July 28, 2014.

The sugarcane residues came out as an important source of biomass for the production of cellulosic ethanol in Brazil. However, there is a lack of studies on the impact that how partial removal of these residues affect the decomposition of the remaining crop residue on the soil surface. In this context, the aim of this study was to evaluate the decomposition and release of nitrogen (N) from sugarcane residues under field conditions. Three different rates of residues were evaluated at five different location of the Rio Grande do Sul state, Brazil. The study was conducted from September 2012 to August 2013, in the municipalities of Port Xavier, São Luiz Gonzaga, Jacuí Heels, Santa Maria and Pelotas. The experimental design was completely randomized with four replications. To monitor the process of decomposition, RB 956 911 sugarcane straw was air dried, and added in amounts equivalent to 4, 8 and 12 t ha<sup>-1</sup> in wooden boxes. These wooden boxes were then collected monthly over a period of one year. The collected materials, was analyzed for the remaining amounts of dry matter (DM) and its C and N concentrations. The straw collected in Santa Maria were also analyzed for hemicellulose (HEM), cellulose (CEL) and lignin (LIG ) the values of DM and remaining C was adjusted in non-linear regression model. The results of this study demonstrated that the amount of sugarcane straw deposited on the surface does not affect the decomposition and release of carbon and nitrogen, and also the breakdown of bio-chemicals (cellulose, hemicellulose and lignin) in the straw. However, it was demonstrated that the site influenced the decomposition and carbon and nitrogen release from the straw, with the main factor controlling decomposition process was precipitation.

**Keywords:** Biochemical compounds. Mechanical harvesting. Crop residues. Remaining dry matter.

## LISTA DE FIGURAS

### ARTIGO I

- Figura 1. Precipitações registradas durante os intervalos de avaliação nos cinco ambientes do estado do Rio Grande do Sul – Brasil.....18
- Figura 2. Temperaturas médias registradas durante os intervalos de avaliação nos cinco ambientes do estado do Rio Grande do Sul – Brasil.....19
- Figura 3. Matéria seca remanescente dos resíduos culturais de cana-de-açúcar durante 360 dias de avaliação da decomposição na superfície do solo, na média das 3 doses de palha em cada ambiente (a) e na média dos cinco ambientes em cada dose (b). As barras verticais representam a diferença mínima significativa entre as médias de cada tratamento (Tukey a 5%).....23
- Figura 4. Carbono remanescente dos resíduos culturais de cana-de-açúcar durante 360 dias de avaliação da decomposição na superfície do solo, na média das 3 doses de palha em cada ambiente (a) e na média dos cinco ambientes em cada dose (b). As barras verticais representam a diferença mínima significativa entre as médias de cada tratamento (Tukey a 5%).....27
- Figura 5. Nitrogênio remanescente dos resíduos culturais de cana-de-açúcar durante 360 dias de avaliação da decomposição na superfície do solo, na média das 3 doses de palha em cada ambiente (a) e na média dos cinco ambientes em cada dose (b). As barras verticais representam a diferença mínima significativa entre as médias de cada tratamento (Tukey a 5%).....30
- Figura 6. Concentração de nitrogênio dos resíduos culturais de cana-de-açúcar durante 360 dias de avaliação da decomposição na superfície do solo, na média das 3 doses de palha em cada ambiente (a) e na média dos cinco ambientes em cada dose (b). As barras verticais representam a diferença mínima significativa entre as médias de cada tratamento (Tukey a 5%).....32

## ARTIGO II

Figura 1. Precipitação registrada durante o período experimental em Santa Maria, RS.....40

Figura 2. Temperatura média registrada durante o período experimental em Santa Maria, RS.....40

Figura 3. Concentração (a) e quantidades remanescentes (b) de celulose nos resíduos culturais de cana-de-açúcar durante a decomposição na superfície do solo. Os valores representam a média das quatro repetições.....45

Figura 4. Concentração (a) e quantidades remanescentes (b) de hemicelulose nos resíduos culturais de cana-de-açúcar durante a decomposição na superfície do solo. Os valores representam a média das quatro repetições.....47

Figura 5. Concentração (a) e quantidades remanescentes (b) de lignina nos resíduos culturais de cana-de-açúcar durante a decomposição na superfície do solo. Os valores representam a média das quatro repetições.....50

## LISTA DE TABELAS

### ARTIGO I

Tabela 1. Caracterização química, classe textural e classificação dos solos das áreas experimentais.....18

Tabela 2. Parâmetros do modelo de regressão não linear calculado a partir dos valores medidos de matéria seca e carbono remanescentes: Proporção do compartimento lábil (A), compartimento recalcitrante (100-A), constante de decomposição ( $k_a$ ), tempo de meia vida ( $t_{1/2a}$ ) e valores de coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de cada tratamento.....26

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>12</b>
<b>2 ARTIGO I - DECOMPOSIÇÃO DA PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR EM FUNÇÃO DA QUANTIDADE E AMBIENTE.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 Resumo.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2 Introdução .....</b>	<b>15</b>
<b>2.3 Materiais e métodos .....</b>	<b>17</b>
2.3.1 Ambientes e condições climáticas.....	17
2.3.2 Resíduos culturais, delineamento experimental e tratamentos.....	19
2.3.3 Avaliações realizadas .....	20
2.3.4 Cálculos e análise estatística .....	21
<b>2.4 Resultados e Discussão .....</b>	<b>22</b>
2.4.1 Matéria seca remanescente.....	22
2.4.2 Carbono remanescente .....	26
2.4.3 Nitrogênio remanescente.....	28
<b>2.3 Conclusões .....</b>	<b>33</b>
<b>2.4 Referências .....</b>	<b>33</b>
<b>3 ARTIGO II - DECOMPOSIÇÃO DOS COMPONENTES BIOQUÍMICOS ESTRUTURAIS DE CANA-DE-AÇÚCAR EM FUNÇÃO DA QUANTIDADE DE RESÍDUOS CULTURAIS .....</b>	<b>37</b>
<b>3.1 Resumo.....</b>	<b>37</b>
<b>3.2 Introdução .....</b>	<b>37</b>
<b>3.3 Materiais e Métodos.....</b>	<b>39</b>
3.3.1 Locais e condições climáticas .....	39
3.3.2 Resíduos culturais, delineamento experimental e tratamentos.....	41
3.3.3 Avaliações realizadas .....	42
3.3.4 Análise estatística.....	43
<b>3.4 Resultados e discussão .....</b>	<b>43</b>
3.4.1 Celulose.....	44
3.4.2 Hemicelulose.....	46
3.4.3 Lignina .....	48
<b>3.5 Conclusões .....</b>	<b>51</b>
<b>3.6 Referências .....</b>	<b>51</b>
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>55</b>
<b>5 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>56</b>

# 1 INTRODUÇÃO GERAL

A atual oferta energética mundial é baseada em combustíveis fósseis, e uma das alternativas renováveis que pode ajudar a reverter esse quadro é o uso de culturas comerciais com alto potencial energético como, por exemplo, a cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). A cana-de-açúcar é caracterizada pela alta quantidade e qualidade de biomassa produzida por unidade de área, sendo considerada importante alternativa para a produção de energia renovável no mundo (Filho, 2009). Diante deste cenário, o Brasil ocupa lugar de destaque, visto que a previsão para a safra 2014/15 é que sejam cultivados 9,13 milhões de hectares, com produtividade média de 74 Mg ha<sup>-1</sup> de colmos (CONAB, 2014). Paralelo a alta produção de colmos, ocorre um elevado aporte de resíduos culturais na superfície do solo oriundos de colheita mecanizada. Na colheita mecanizada são depositados em torno de 10 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos culturais para cada 100 Mg ha<sup>-1</sup> de colmos produzidos, podendo atingir um *mulching* de cerca de 10–12 cm de espessura (Robertson & Thorburn, 2007; Campos, 2003).

O método utilizado na colheita possui forte influência na produção e longevidade da cultura (Souza et al., 2005). Na colheita mecanizada, o aporte de biomassa vegetal na superfície do solo, associado à taxa de decomposição de 60% encontrada ao término do ciclo agrícola por Campos (2003), contribui para a melhora das condições químicas, físicas e biológicas do solo (Cantarella, 2010). Com a permanência dos resíduos culturais na superfície do solo, ocorre a elevação dos teores de carbono (C) no solo (Galdos et al., 2009), ciclagem de nutrientes (Oliveira et al., 1999) e aumento da atividade biológica (Souza et al., 2012).

Porém, os resíduos culturais também podem ser utilizados como biomassa vegetal para a produção do etanol celulósico, também chamado de bioetanol (Santos et al., 2012). No entanto, a retirada total ou parcial dos resíduos para a produção do etanol celulósico pode afetar diretamente a decomposição, pois afeta entre outros fatores, o contato solo-resíduo (Carvalho et al., 2008). Outro processo que pode ser influenciado é a imobilização/mineralização do N do solo na biomassa microbiana, visto que o aporte de resíduos culturais pode requerer altas quantidades de N proveniente do solo para atingir a relação C:N de equilíbrio (Vitti et al., 2008). A menor quantidade de resíduos culturais na superfície do solo, também pode elevar as perdas por erosão, reduzir a infiltração, elevar a

umidade, além de reduzir a temperatura do solo e disponibilidade de nutrientes para a fauna e para a cultura subsequente (Bezerra & Cantalice, 2009).

Existem vários fatores que atuam na decomposição dos resíduos culturais na superfície do solo, dentre os quais estão a temperatura, tipo de solo, regime hídrico e composição bioquímica dos resíduos (Aita & Giacomini, 2003; Robertson & Thorburn, 2007; Carvalho et al., 2008; Carvalho et al., 2011; Fortes et al., 2012). Já a variação no conteúdo dos componentes bioquímicos de cana-de-açúcar também é influenciada por vários fatores, entre eles, o tipo de solo e o manejo adotado no cultivo (Oliveira et al., 1999; Faroni et al., 2003; Meier et al., 2006).

A hemicelulose, celulose e lignina são constituintes estruturais dos resíduos culturais (hemicelulose e celulose nas paredes primárias e lignina nas paredes secundárias das células). Ambos apresentam baixa decomposição dos resíduos ao longo do tempo (Jensen et al., 2005), o que retarda o processo de decomposição e os mantém por mais tempo na superfície do solo. Já a fração solúvel de Van Soest, devido a sua rápida assimilação pelos microrganismos, é rapidamente decomposta pelos microrganismos, o que pode exigir elevadas concentrações de nitrogênio proveniente do solo em um curto período (Swift et al., 1979).

A fim de compreender o processo de decomposição de resíduos culturais de cana-de-açúcar pela manutenção da palha na superfície do solo, existem vários estudos que abordam diferentes situações de campo (Gava et al., 2001; Robertson & Thorburn, 2007; Galdos et al., 2009; Thorburn et al., 2012; Fortes et al., 2012). No entanto, os resultados encontrados apresentam variações, e podem estar associados ao tipo de solo, teor de matéria orgânica, relação C:N, pH do solo, temperatura e umidade do solo, suprimento de nutrientes inorgânicos, práticas de manejo adotadas e da interação solo-planta (Myers et al., 1994; Oliveira et al., 1999; Gava et al., 2003).

O presente estudo tem como objetivo geral avaliar a dinâmica da decomposição da palha e dos seus compostos bioquímicos, e a liberação de nitrogênio em função da quantidade de resíduos de cana-de-açúcar aportados na superfície do solo em cinco locais do estado do Rio Grande do Sul.

As hipóteses do estudo são: a menor quantidade de resíduos culturais eleva a taxa de decomposição e liberação de carbono e nitrogênio, bem como a degradação dos compostos bioquímicos devido ao maior contato solo-resíduo; e a precipitação e temperatura favorecem o processo de decomposição dos resíduos culturais de cana-de-açúcar.

O presente trabalho foi estruturado em formato de dois artigos. O primeiro artigo teve o objetivo de avaliar mensalmente por 360 dias, a dinâmica da decomposição e liberação de

nitrogênio em cinco ambientes do Rio Grande do Sul em função da quantidade de resíduos de cana-de-açúcar aportados na superfície do solo. Já o segundo artigo teve por objetivo avaliar mensalmente a decomposição dos constituintes bioquímicos (celulose, hemicelulose e lignina), em função da quantidade de resíduos culturais de cana-de-açúcar aportadas na superfície do solo em Santa Maria, RS.

## 2 ARTIGO I - DECOMPOSIÇÃO DA PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR EM FUNÇÃO DA QUANTIDADE E AMBIENTE

### 2.1 Resumo

A retirada dos resíduos vegetais da superfície do solo provoca alterações na qualidade do solo. O objetivo deste estudo foi avaliar a decomposição e liberação de nitrogênio (N) dos resíduos culturais de cana-de-açúcar RB 956911 em condições de campo em função de diferentes quantidades de resíduos em cinco ambientes do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. O estudo foi realizado no período de setembro de 2012 a agosto de 2013, com avaliações mensais. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com 4 repetições. O aporte de quantidades equivalentes a 4, 8 e 12 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos foi realizada no interior de quadros telados. Os resultados foram ajustados conforme modelo de regressão não linear. Ao final do estudo, na média das três doses, as maiores e menores quantidades de matéria seca e carbono remanescentes foram encontrados em Salto do Jacuí (40,1 e 42,7%, respectivamente), e São Luiz Gonzaga (28,1 e 29,9%, respectivamente). As menores quantidades de nitrogênio remanescentes ao final do estudo foram de 67 e 75% para São Luiz Gonzaga e Porto Xavier, respectivamente. A quantidade de resíduos culturais de cana-de-açúcar dispostas na superfície do solo não interfere na decomposição e liberação de nitrogênio dos resíduos culturais em condições de campo. No entanto, o local de estudo exerce influência sobre as variáveis avaliadas.

**Palavras-chave:** Saccharum. Resíduos culturais. Mineralização. Matéria seca remanescente. Biomassa.

### 2.2 Introdução

A cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) destaca-se mundialmente pela importância econômica, social e ambiental (Goldemberg, 2007). O Brasil ocupa a liderança mundial em produção movida pela alta demanda de etanol no mercado interno e pelos bons preços do açúcar no mercado internacional (Marin et al., 2014). A colheita

mecanizada da cana-de-açúcar deposita cerca de 10 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos culturais para cada 100 Mg ha<sup>-1</sup> de colmos produzidos (Robertson et al., 2007). Os resíduos culturais são uma importante fonte de biomassa vegetal que pode ser utilizada para a geração de energia elétrica ou produção de etanol celulósico (Goldemberg, 2007).

A permanência dos resíduos culturais na superfície promove benefícios físicos, químicos e biológicos para o solo (Cantarella, 2010). Portanto, há um contrassenso entre a permanência dos resíduos na superfície do solo e seu uso para fins energéticos. Nesse sentido, a retirada parcial dos resíduos culturais pode representar uma possível alternativa, pois visa reduzir os impactos causados pela retirada total dos resíduos da superfície do solo para a produção de energia.

A manutenção de parte dos resíduos vegetais em superfície solo promove entre outros benefícios, o aumento do teor de carbono (C) no solo (Galdos et al., 2009), ciclagem de nutrientes (Oliveira et al., 1999) e aumento da atividade biológica (Souza et al., 2012). Com a retirada parcial dos resíduos da superfície do solo, é possível que o menor aporte de resíduos exerça alguma influência sobre os fatores que determinam a dinâmica da decomposição, como por exemplo, o contato solo/resíduo (Carvalho et al., 2008). A fim de elucidar os efeitos da manutenção da palha de cana-de-açúcar na superfície do solo, existem vários estudos que abordam o tema de diferentes maneiras (Gava et al., 2001; Robertson & Thorburn, 2007; Galdos et al., 2009; Thorburn et al., 2012; Fortes et al., 2012; Souza et al., 2012).

O uso dos resíduos culturais oriundos da colheita da cana-de-açúcar para a produção do etanol celulósico é relativamente recente e ainda existe uma grande carência sobre os efeitos da retirada parcial dos resíduos culturais na dinâmica da decomposição e liberação de nitrogênio no solo. A imobilização/mineralização do N do solo pela biomassa microbiana pode ser diretamente afetada, visto que o aporte de resíduos culturais pode requerer altas quantidades de N proveniente do solo para atingir a relação C:N de equilíbrio (Vitti et al., 2008). Espera-se que a retirada parcial dos resíduos acelere a decomposição e liberação do nitrogênio contido nos resíduos culturais, bem como cada local exerça influência sobre essa dinâmica.

Assim, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a decomposição e liberação de N dos resíduos culturais de cana-de-açúcar em condições de campo, na superfície do solo, e em função de diferentes quantidades de resíduos e ambientes do estado do Rio Grande do Sul.

## 2.3 Materiais e métodos

### 2.3.1 Ambientes e condições climáticas

O presente estudo foi realizado em condições de campo durante o período de setembro de 2012 a agosto de 2013 (360 dias). Foram conduzidos experimentos em cinco ambientes do estado do Rio Grande do Sul – Brasil: 1) Área experimental do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria- UFSM, Santa Maria (29°43' S, 53°42' W; 87 m de altitude); 2) Área experimental da EMBRAPA Clima Temperado, Pelotas (31°41' S, 52°26' W; 51 m de altitude); 3) Área experimental da empresa Grandespe, Salto do Jacuí (28°59' S, 53°14' W; 345 m de altitude); 4) Área experimental da cooperativa Coopercana, Porto Xavier (27°56' S, 55°14' W; 126 m de altitude), e 5) Propriedade rural em São Luiz Gonzaga (28°30' S, 54°50' W; 257 m de altitude). A escolha desses ambientes ocorreu de forma que o estudo contemple as principais regiões produtoras de cana-de-açúcar do Rio grande do Sul. Os solos em cada ambiente, bem como as propriedades químicas, classe textural dos mesmos na camada 0–10 cm e são apresentadas na tabela 1.

O clima dos cinco ambientes de estudo é classificado como subtropical úmido, tipo Cfa, conforme a classificação de Köppen. Os dados climáticos referentes à Salto do Jacuí foram coletados em estação meteorológica localizada no município de Cruz Alta – RS. Os dados de temperatura média do ar referentes a Porto Xavier foram coletados em estação meteorológica localizada no município de Santa Rosa – RS, ambos com distância aproximada de 50 km dos locais estudados. Os demais dados climáticos foram coletados em estações meteorológicas situadas próximas dos ambientes estudados. Durante a condução dos experimentos a precipitação total foi de 1.853, 2.437, 2.258, 1.812 e 1.110 mm, respectivamente, em Santa Maria, Porto Xavier, São Luiz Gonzaga, Salto do Jacuí e Pelotas e o número de dias chuvosos no mesmo período foi de 188, 76, 124, 152 e 174 dias. A precipitação e a temperatura média nos intervalos de coleta em cada ambiente de estudo estão apresentadas na figura 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1. Caracterização química, classe textural e classificação dos solos das áreas experimentais.

Ambientes	pH (Água)	C total - g kg <sup>-1</sup> -	N total	Classe Textural	Classificação
Santa Maria	6,0	7,4	0,45	Franco Arenoso	AV <sup>(1)</sup>
Porto Xavier	5,4	15,4	0,98	Argiloso	LV <sup>(2)</sup>
São Luiz Gonzaga	5,8	26,2	1,92	Argiloso	LV
Salto do Jacuí	6,7	12,9	0,73	Franco Argiloso	LV
Pelotas	6,4	6,8	0,42	Franco Arenoso	AVA <sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup>Argissolo Vermelho; <sup>(2)</sup>Latosolo Vermelho; <sup>(3)</sup>Argissolo Vermelho Amarelo.

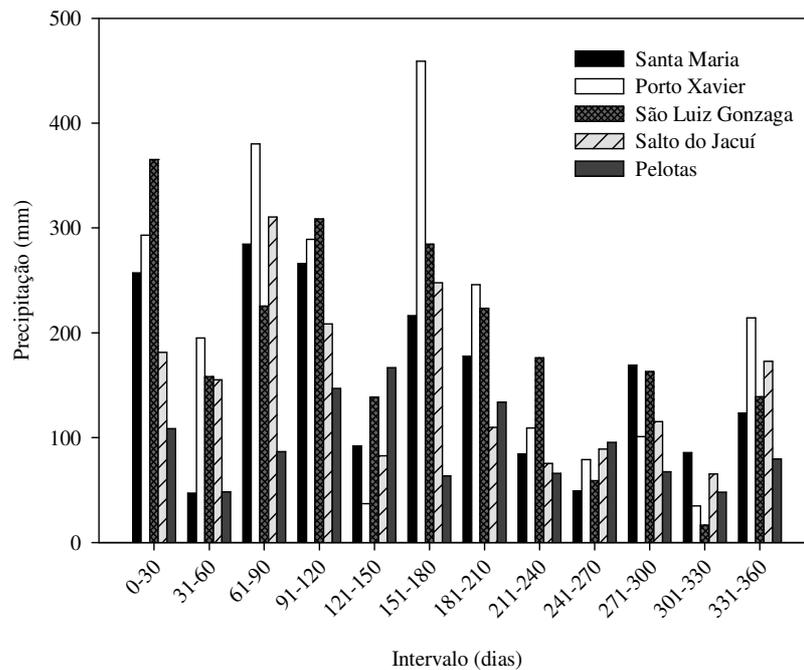


Figura1. Precipitações registradas durante os intervalos de avaliação nos cinco ambientes do estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

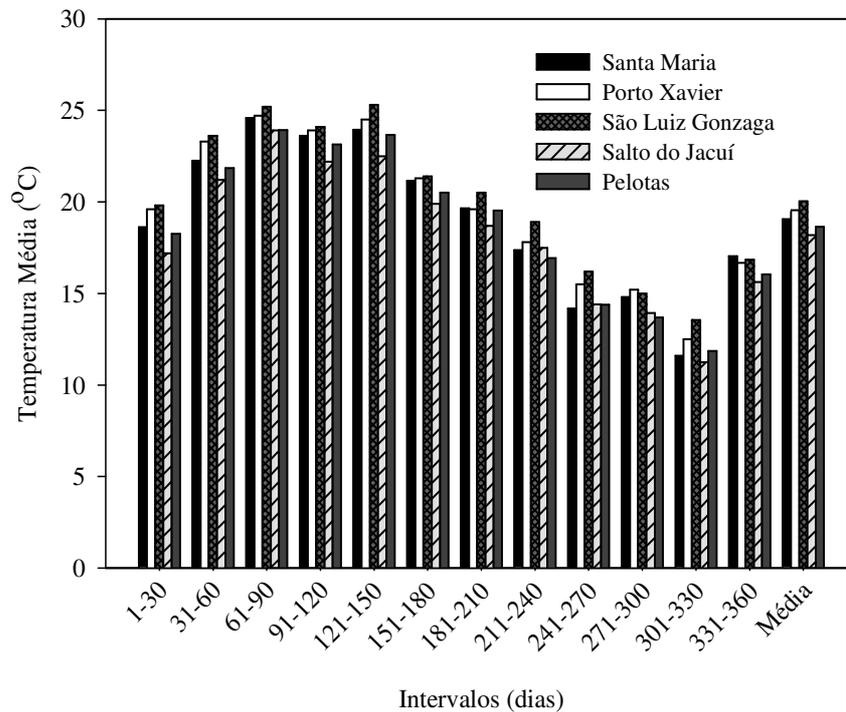


Figura 2. Temperaturas médias registradas durante os intervalos de avaliação nos cinco ambientes do estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

### 2.3.2 Resíduos culturais, delineamento experimental e tratamentos

Os resíduos culturais da cana-de-açúcar RB 956911 foram provenientes de um experimento instalado na área experimental do Departamento de Solos da UFSM. Os resíduos culturais da cana-de-açúcar foram coletados quando a cultura se encontrava no estágio de maturação. A coleta foi realizada manualmente em 27/07/12 com o objetivo de separar a palha que envolve o colmo (palha lateral) e o ponteiro da planta (após o último internódio). Após a coleta, os resíduos culturais foram secos ao ar por 10 dias, em seguida foram triturados em trilhadeira de grãos de culturas comerciais para uniformizar o tamanho de partículas dos resíduos e também obter resíduos semelhantes aos obtidos com a colheita mecanizada. Após a trituração, os resíduos foram secos ao ar até peso constante. A proporção das palhas (lateral e do ponteiro) na parte aérea da planta foi determinada em 10 plantas da cana-de-açúcar que foram coletadas e secas em estufa a 65°C. Os valores encontrados foram de 76% para a palha lateral e 24% para ponteiro.

Os tratamentos avaliados nos cinco locais de estudo foram: T1 – 4 Mg ha<sup>-1</sup>; T2 – 8 Mg ha<sup>-1</sup> e T3 – 12 Mg ha<sup>-1</sup> de matéria seca (MS). Os resíduos culturais da parte aérea (palha lateral e ponteiro) de cada tratamento foram acondicionados dentro de quadros de madeira de 0,16 m<sup>2</sup> com dimensões internas de 40 cm x 40 cm x 8 cm (comprimento x largura x altura). Foram adicionados 64, 128 e 192 g de MS para os tratamentos com 4, 8 e 12 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Os quadros de madeira foram fechados na parte inferior com tela de nylon com malha de 2 mm para evitar a perda de resíduo vegetal, bem como um maior contato solo-resíduo. A parte superior do quadro de madeira foi fechada com tela plástica com malha de 10 mm para não limitar o acesso dos macrorganismos do solo, além de reduzir as perdas de resíduos pelo vento. Optou-se pelo quadro em detrimento da bolsa de decomposição, pela melhor adaptação em maiores quantidades de resíduo vegetal, permitindo uma melhor distribuição do resíduo na superfície do solo na área interna do quadrado.

A distribuição dos quadrados contendo a palha nos locais de estudo ocorreu nos dias 22/09, 24/09, 24/09, 21/09 e 25/09, respectivamente, em Santa Maria, Porto Xavier, São Luiz Gonzaga, Salto do Jacuí e Pelotas. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com 4 repetições. Os quadros telados foram alocados em duas fileiras na entrelinha da cana-de-açúcar, no início da brotação e espaçados entre si em 10 cm. Buscou-se acondicionar os quadros telados em relevo plano, a fim de promover o maior contato solo-resíduo. Uma subamostra dos resíduos culturais utilizados no dia da instalação do experimento foi armazenada em sacos plásticos. Durante as avaliações nenhum tipo de fertilizante foi aplicado sobre a palha presente nos quadrados de decomposição.

### 2.3.3 Avaliações realizadas

As coletas dos quadros de madeira com os resíduos culturais foram realizadas aos 30 dias (T30), 60 dias (T60), 90 dias (T90), 120 dias (T120), 150 dias (T150), 180 dias (T180), 210 dias (T210), 240 dias (T240), 270 dias (T270), 300 dias (T300) e 360 dias (T360) após sua distribuição na superfície do solo, totalizando 12 coletas. A cada data de avaliação foram coletadas quatro repetições por tratamento em cada local de estudo.

Os resíduos culturais remanescentes dentro dos quadros de madeira telados foram armazenados em sacos de papel e secos em estufa a 65°C. Posteriormente, os resíduos culturais foram separados do solo aderido com limpeza a seco, pesados e determinados a

matéria seca remanescente (MSR). Em seguida, as amostras de tecido foram moídas em moinho do tipo Willey (1 mm) e posteriormente, em moinho multiuso (modelo TE - 631/3, <1 mm). A quantificação do conteúdo de cinzas nas amostras, com três repetições, foi obtido através da incineração de 1 grama de tecido vegetal em mufla a 550°C por 3 horas (Tedesco et al., 1995), para obter os resultados de MSR livre de cinzas, por diferença.

Nos resíduos culturais do início do experimento (T0) e na MSR aos T30, T60, T90, T120, T150, T180, T210, T240, T270, T300 e T360, foi determinado os conteúdos de carbono total (C) e nitrogênio total (N) por combustão seca em auto analisador CHNS (modelo FlashEA 1112, ThermoFinnigan, Milan, Itália). Os resíduos culturais do T0 apresentavam 435 g kg<sup>-1</sup> de C e 4,37 g kg<sup>-1</sup> de N total (relação C/N = 99).

#### 2.3.4 Cálculos e análise estatística

As taxas de decomposição expressos em MSR e de C remanescente (CR) dos resíduos culturais de cana-de-açúcar foram ajustadas através do modelo de regressão não linear proposto por Wieder & Lang (1982):

$$\text{MSR e CR} = A e^{-kat} + (100-A)$$

Sendo,

MSR = Percentagem de MSR livre de cinzas no tempo  $t$  (dias);

CR = Percentagem de CR no tempo  $t$  (dias);

$ka$  = taxa constante de decomposição da MS e do C do compartimento de fácil decomposição (A);

(100-A) = Compartimento de difícil decomposição (recalcitrante).

Nesse modelo, os resíduos culturais são divididos em dois compartimentos: 1) compartimento facilmente decomponível (A), que decresce exponencialmente com o tempo a uma taxa constante; e 2) compartimento recalcitrante (100-A), que não sofre alteração com o tempo. A partir dos valores da taxa constante de decomposição da MS e mineralização do C do compartimento facilmente decomponível ( $ka$ ), estimou-se o tempo de meia vida ( $t_{1/2}$ ) do compartimento facilmente decomponível para a MS e C, respectivamente. Para este cálculo, utilizou-se a equação a seguir, descrita em Paul & Clark (1996):

$$t_{1/2} = 0,693/k(a)$$

Sendo,

$t_{1/2}$  = tempo necessário para que 50% do compartimento seja decomposto ou mineralizado;

$ka$  = taxa constante de decomposição da MS e do C do compartimento de fácil decomposição (A);

Os resultados foram submetidos a análise de variância em que foi testada a interação entre locais e doses de palha. As médias dos tratamentos aos 30, 90, 180 e 360 dias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

## 2.4 Resultados e Discussão

A análise de variância dos dados de MSR, CR e teores de N na palha e NR indicou ausência de interação significativa entre os fatores ambientes x doses de palha. Houve efeito significativo dos ambientes sobre as variáveis avaliadas, diferentemente das doses de palha que não apresentaram efeito significativo em nenhum dos ambientes estudados.

### 2.4.1 Matéria seca remanescente

A dinâmica da decomposição da palha de cana-de-açúcar expressa através da quantidade de MSR ao longo do tempo diferiu entre os cinco ambientes de estudo, principalmente a partir dos 90 dias após a adição dos resíduos culturais na superfície do solo (Figura 3a e 3b). De maneira geral, a decomposição nos cinco ambientes ocorreu de forma constante ao longo do tempo com tendência de menor decomposição apenas a partir dos 180 dias da colocação da palha no solo. Comportamento distinto foi observado por Robertson & Thorburn (2007a), que ao avaliarem a decomposição de resíduos culturais de cana-de-açúcar por um ciclo, e em diferentes ambientes, encontraram rápida decomposição no período inicial e lenta decomposição no período final de avaliação.

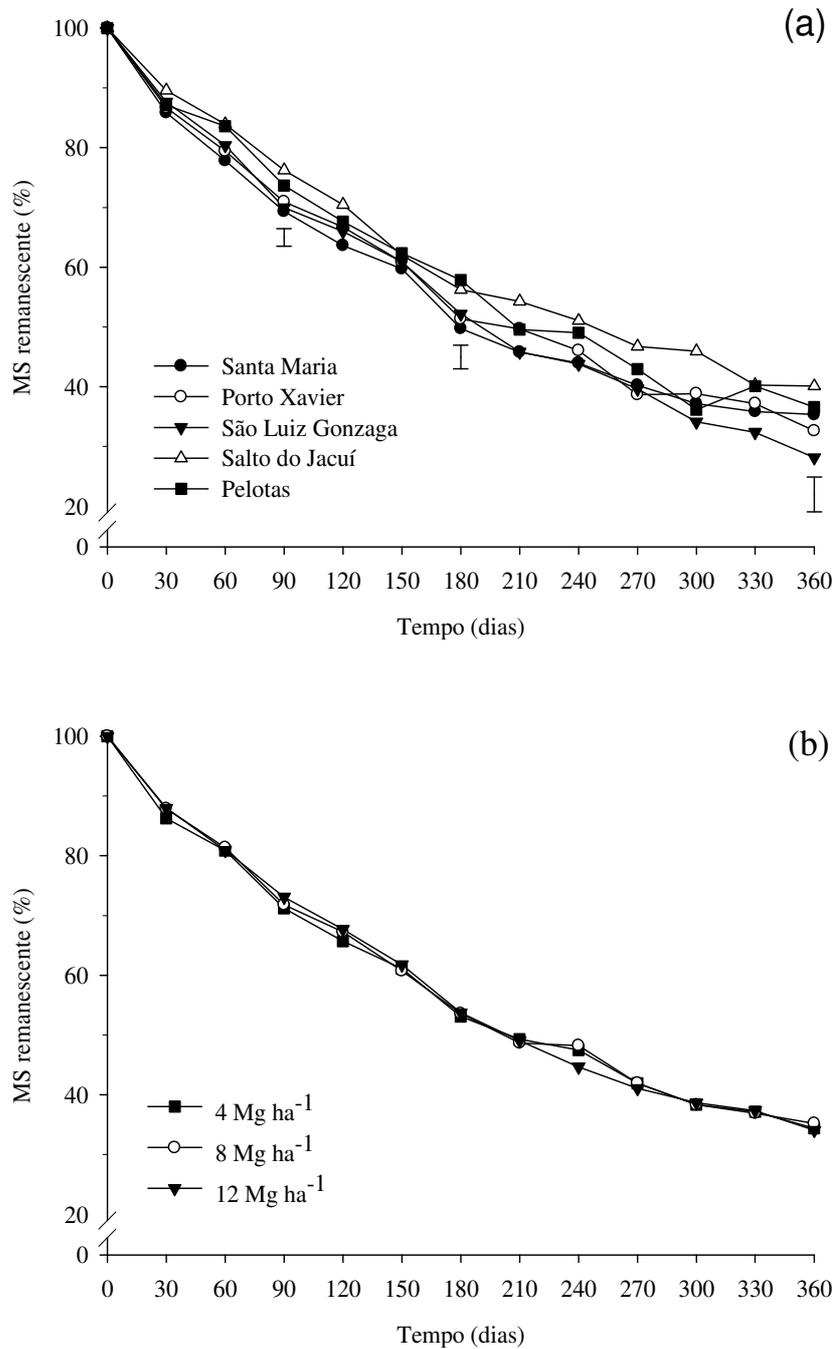


Figura 3. Matéria seca remanescente dos resíduos culturais de cana-de-açúcar durante 360 dias de avaliação da decomposição na superfície do solo, na média das 3 doses de palha em cada ambiente (a) e na média dos cinco ambientes em cada dose (b). As barras verticais representam a diferença mínima significativa entre as médias de cada tratamento (Tukey a 5%).

Nos primeiros 30 dias de avaliação não houve efeito significativo da dose e dos ambientes na decomposição dos resíduos. Devido às precipitações que ocorreram neste período, provavelmente os compostos carbonados solúveis em água foram lixiviados (Swift et

al., 1979) e o N permaneceu imobilizado na biomassa microbiana do solo (Gava et al., 2005; Robertson & Thorburn, 2007a), o que pode ter possibilitado a máxima taxa de decomposição dos resíduos em todos os tratamentos avaliados.

A partir dos 90 dias, o ambiente exerce influência na taxa de decomposição dos resíduos até o final do estudo, quando a média das três doses de MSR variou entre 40,1% em Salto do Jacuí e 28,1% em São Luiz Gonzaga. Resultados semelhantes foram obtidos por Fortes et al. (2012) que avaliaram a decomposição de 8,9 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de cana-de-açúcar e encontraram 27% de MSR após um ano e por Vitti et al. (2008), que avaliaram o efeito de doses de N na decomposição de 9 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de cana-de-açúcar, e encontraram valores de MSR de 25 à 36% após 420 dias de estudo, o maior valor de MSR foi encontrado no tratamento testemunha, no qual não houve adição de fertilizante nitrogenado.

A quantidade de MSR ao final do estudo apresentou relação inversa a precipitação acumulada (Figura 1) e temperatura média do ar (Figura 2) nos locais durante o período avaliado. Resultados semelhantes também foram encontrados por Robertson & Thorburn (2007a) e Douglas & Rickman (1992), que encontraram relações lineares diretas entre a decomposição de resíduos de cana-de-açúcar na superfície do solo e a soma térmica. No entanto, Oliveira et al. (2002), ao avaliarem a decomposição de resíduos de cana-de-açúcar em dois ambientes distintos, encontraram valores de MSR que variaram entre 30% (aos 330 dias) a 78% (aos 360 dias), os autores atribuíram essa diferença ao efeito à irrigação do solo (umidade).

De acordo com o relatado por Robertson & Thorburn (2007a), esperava-se que a decomposição teria relação direta com o número de dias chuvosos, no entanto, esta relação não foi observada no presente estudo. Tal resultado deve-se a manutenção da umidade do solo no interior do canal, seja pelo sombreamento da cultura e principalmente pela proteção da superfície do solo pela palha que diminui a evaporação da água.

A quantidade de MSR apresentou relação inversa com o teor de N total do solo. Nos ambientes em que o solo apresentava os maiores conteúdos de N total (São Luiz Gonzaga e Porto Xavier) (Tabela 1) também apresentam menores valores de MSR ao final do estudo (Figura 3a). O efeito da disponibilidade de N foi observado por Vitti et al. (2008), que avaliaram doses de N na decomposição de resíduos de cana-de-açúcar e encontraram menores quantidades de MSR nos tratamentos com aplicação de N em relação ao tratamento testemunha, o que comprova o efeito do N na decomposição dos resíduos de plantas no solo (Recous et al., 1995). O resultado do presente estudo evidencia que a disponibilidade natural de N no solo também exerce efeito sobre a decomposição da palha na superfície do solo.

A MSR ao final do estudo foi de 34, 35 e 34% para os tratamentos com 4, 8 e 12 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos vegetais, respectivamente. Esperava-se que a maior quantidade de resíduos sobre o solo na dose de 12 Mg ha<sup>-1</sup>, resultaria em menor decomposição devido o menor contato da massa de palha com o solo comparado a dose de 4 Mg ha<sup>-1</sup>, por exemplo. Estes resultados corroboram com aqueles obtidos por Acosta et al. (2014), que avaliaram a decomposição de 3, 6 e 9 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos culturais de aveia preta, ervilhaca peluda e nabo forrageiro por dois anos e também não encontraram diferença significativa na decomposição entre as diferentes quantidades de resíduos no solo. Provavelmente, tais resultados são decorrentes do microclima formado pela maior quantidade de resíduos sobre o solo que pode ter favorecido a manutenção da umidade no solo e na massa de palha, e conseqüentemente, a manutenção da decomposição dos resíduos nos tratamentos com 8 e 12 Mg ha<sup>-1</sup> mesmo com menor contato com o solo. Já na dose de 4 Mg ha<sup>-1</sup> a perda de umidade do solo e da própria palha deve ser maior do que nas maiores doses de palha e com isso provoca redução na decomposição da palha nessa condição. Além disso, é possível que os fungos também tenham atuado efetivamente na decomposição como imobilizadores do N do solo através das hifas, proporcionando altas taxas de decomposição também na camada superior dos resíduos. Vitti et al. (2008) também visualizaram crescimento de hifas de fungos sob e dentro da palha de cana-de-açúcar, o que demonstra a atividade de fungos na decomposição de resíduos vegetais no solo.

As doses de resíduos aportados na superfície do solo não apresentaram variação significativa na decomposição do compartimento lábil (A) e também na taxa constante de decomposição (ka) (Tabela 2). Esperava-se que houvesse diferença na taxa de decomposição do compartimento lábil e na quantidade de MSR ao longo do tempo nos tratamentos com 4, 8 e 12 Mg ha<sup>-1</sup>. Na comparação dos parâmetros gerados pelo modelo para os ambientes, observa-se que a taxa de decomposição do compartimento lábil (ka) é inversa ao tamanho do compartimento (A) (Tabela 2). O tamanho do compartimento lábil (A) variou entre os ambientes. Porém, as taxas constantes de decomposição apresentaram relação inversa ao compartimento lábil, o que evidencia que a cinética da decomposição pode estar diretamente associada ao tamanho dos compartimentos, e não com a taxa constante de decomposição, conforme observado por Espíndola et al. (2006); Torres et al. (2008).

Tabela 2. Parâmetros do modelo de regressão não linear calculado a partir dos valores medidos de matéria seca e carbono remanescentes: proporção do compartimento lábil (A), compartimento recalcitrante (100-A), constante de decomposição ( $k_a$ ), tempo de meia vida ( $t_{1/2a}$ ) e valores de coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de cada tratamento.

Tratamento <sup>(1)</sup>	A	$k_a$	(100-A)	$t_{1/2}^a$	$R^2$
	%	dia <sup>-1</sup>	%	Dia	
Matéria seca remanescente <sup>(2)</sup>					
4	85,97 a <sup>(4)</sup>	0,00451 a	14,03	154	0,99
8	83,10 a	0,00449 a	16,90	154	0,99
12	87,43 a	0,00420 a	12,57	165	0,99
Santa Maria	77,98 b	0,00554 a	22,02	125	0,99
Porto Xavier	85,20 ab	0,00436 ab	14,80	159	0,99
São Luiz Gonzaga	99,44 a	0,00373 b	0,66	186	0,99
Salto do Jacuí	78,72 b	0,00436 ab	21,28	159	0,99
Pelotas	86,15 ab	0,00399 b	13,85	174	0,98
Carbono remanescente <sup>(3)</sup>					
4	80,59 a	0,00497 a	19,41	139	0,99
8	79,43 a	0,00471 a	20,57	147	0,99
12	82,73 a	0,00458 a	17,27	151	0,99
Santa Maria	72,71 bc	0,00602 a	27,29	115	0,99
Porto Xavier	82,98 abc	0,00454 bc	17,02	153	0,99
São Luiz Gonzaga	96,27 a	0,00387 c	3,73	179	0,99
Salto do Jacuí	68,70 c	0,00527 ab	31,30	131	0,98
Pelotas	83,93 ab	0,00407 bc	16,07	170	0,98

<sup>(1)</sup> 4 = 4 Mg ha<sup>-1</sup>; 8 = 8 Mg ha<sup>-1</sup>; 12 = 12 Mg ha<sup>-1</sup>. <sup>(2)</sup> MSR =  $A e^{(-k_a t)} + (100-A)$ . <sup>(3)</sup> CR =  $A e^{(-k_a t)} + (100-A)$ . <sup>(4)</sup> Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si (Tukey 5 %).

### 2.2.2 Carbono remanescente

A velocidade de mineralização do C, expressa como uma porcentagem do C inicial adicionado, foi influenciada somente pelos ambientes (Figura 4a, 4b). A interação ambiente x dose não foi significativa ( $P < 0,05$ ). O comportamento do CR foi similar ao observado para a MSR (Figuras 3a e 3b). O conteúdo inicial e a média final de CR nos resíduos culturais de

cana-de-açúcar de todos os tratamentos foram de 435 e 455 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente (dados não mostrados). Esta proximidade do conteúdo inicial e final de C nos resíduos culturais demonstra que a taxa de mineralização do C acompanha a taxa de decomposição dos resíduos culturais. Essa relação também foi observada por Robertson & Thorburn (2007) e Vitti et al. (2008) ao trabalharem com resíduos culturais de cana-de-açúcar.

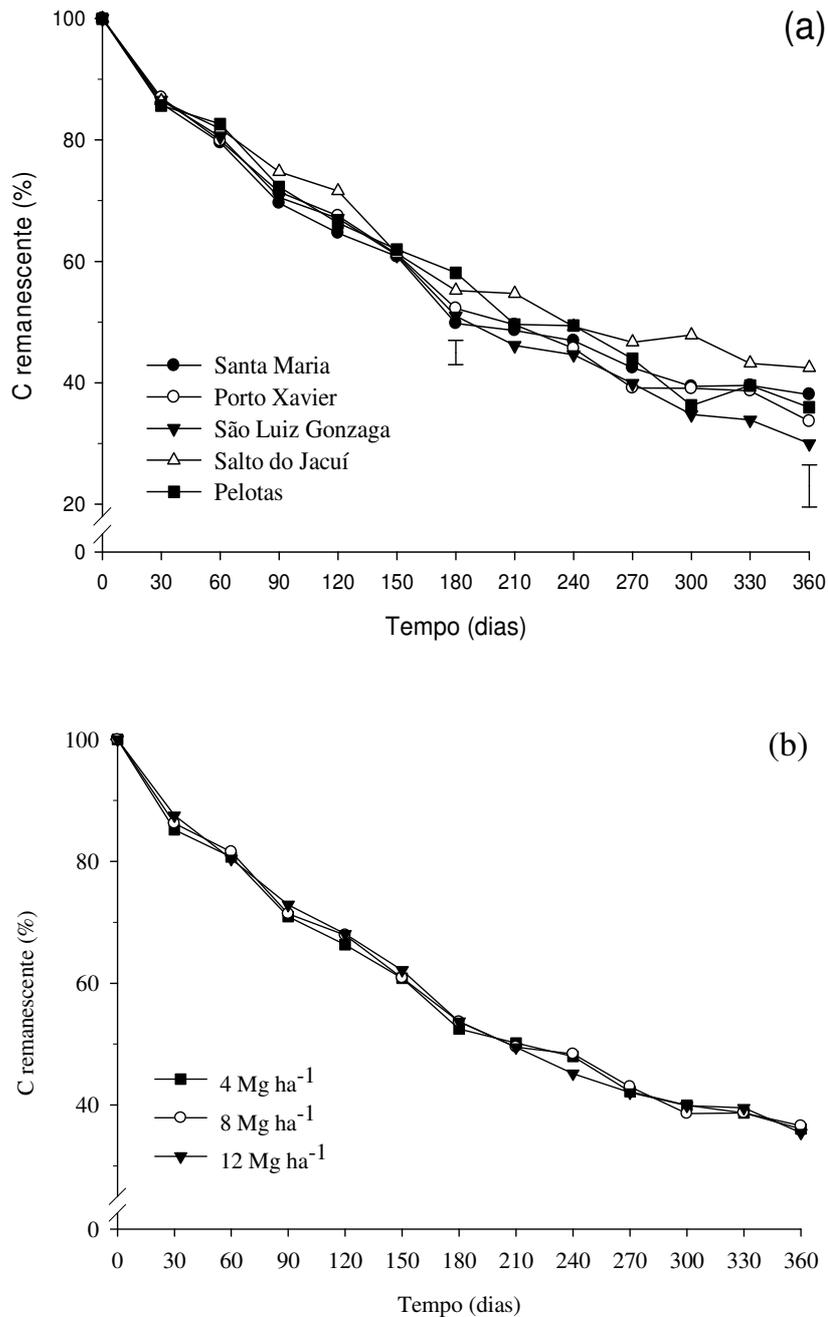


Figura 4. Carbono remanescente dos resíduos culturais de cana-de-açúcar durante 360 dias de avaliação da decomposição na superfície do solo, na média das 3 doses de palha em cada ambiente (a) e na média dos cinco ambientes em cada dose (b). As barras verticais representam a diferença mínima significativa entre as médias de cada tratamento (Tukey a 5%).

Semelhante ao ocorrido para a MSR, a dinâmica do CR também apresentou liberação relativamente constante durante o período avaliado. No entanto, há maior redução da quantidade de CR nos primeiros 30 dias, 13,7% em média, o que pode ser atribuída à decomposição dos componentes facilmente decomponíveis nos resíduos culturais (Swift et al., 1979). Weiler (2012) ao avaliar a decomposição de plantas de cobertura de solo, observou que aos 35 dias, a redução média do C presente nos resíduos culturais foi de 55% do C total perdido aos 140 dias após o manejo das espécies. Tal resultado foi atribuído a presença de compostos solúveis.

Ao final do estudo (360 dias), a quantidade de CR média das três doses nos cinco ambientes variou de 42% em Salto do Jacuí até 30% em São Luiz Gonzaga. Já a quantidade de CR na média dos cinco ambientes nas três doses foi de 36, 37 e 35% para os tratamentos com 4, 8 e 12 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos vegetais, respectivamente. Esses resultados evidenciam que a quantidade de resíduos culturais aportados no solo não interfere na mineralização do C.

De acordo com a mesma equação utilizada para a MSR, o CR também foi caracterizado em compartimento lábil (A) e recalcitrante (100-A) (Tabela 2). Da mesma forma que para a MSR, o compartimento lábil (A) variou entre os ambientes ( $P < 0,05$ ). Já as taxas constantes de decomposição apresentaram relação inversa ao tamanho do compartimento, o que se assemelha à relação encontrada para a MSR.

Cabe ressaltar que 27% do C presente nos resíduos de Santa Maria e 31% do C presente nos resíduos de Salto do Jacuí estão no compartimento recalcitrante (100-A), que é de difícil degradação. Do ponto de vista ambiental, o compartimento recalcitrante pode representar importante fração de C à ser incorporada na MOS, e contribuir também para o seqüestro de C no solo.

### 2.2.3 Nitrogênio remanescente

O N remanescente (NR) dos resíduos culturais, expresso em percentagem do teor inicial, não foi diferente estatisticamente para as doses (Figura 5b), mas diferiu entre os ambientes (Figura 5a) ( $P < 0,05$ ). A interação ambiente x dose não foi significativa ( $P < 0,05$ ). O NR apresentou duas fases distintas, a primeira ocorre logo após o início da decomposição, com aumento do NR em função da imobilização do N do solo pela biomassa microbiana, e a segunda ocorre a lenta e reduzida liberação do N presente nos resíduos e biomassa

microbiana. Resultados semelhantes também foram encontrados por Acosta et al. (2014), com resíduos de aveia preta e por Robertson & Thorburn (2007a), que trabalharam com resíduos de cana-de-açúcar na Austrália, e encontraram imobilização do N em dois dos cinco ambientes de estudo.

Os tratamentos compostos por doses de resíduos de cana-de-açúcar não apresentaram efeito significativo sobre o NR ao longo do período avaliado. Esse resultado está em desacordo aos encontrados por Acosta et al. (2014), que verificaram efeito significativo da quantidade de resíduos aportada na superfície do solo na liberação de N, em estudo com aveia preta, ervilhaca e nabo forrageiro. É possível que a relação C/N dos resíduos culturais, que foram de até 44, por ser inferior à relação C/N de 99 dos resíduos de cana-de-açúcar tenha sido a causa para tal dinâmica de liberação de N.

Nos primeiros 30 dias de estudo, observa-se que, embora não haja diferença estatística, a imobilização de N do tratamento com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos não acompanha os demais tratamentos. Logo, é possível que tenha havido disponibilidade de N presente no solo para suprir a necessidade inicial dos microorganismos decompositores que atuaram na decomposição dos resíduos do tratamento com 4 Mg ha<sup>-1</sup>, já para os demais tratamentos, o teor de N do solo pode ter limitado a decomposição durante este período.

Cabe ressaltar que até os 90 dias após o início das avaliações, houve imobilização do N para as 3 doses avaliadas, e somente após esse período houve liberação do N contido nos resíduos vegetais e como consequência, disponibilidade para as plantas, o que evidencia a importância do uso da adubação nitrogenada na cana soca para que haja um desenvolvimento inicial satisfatório.

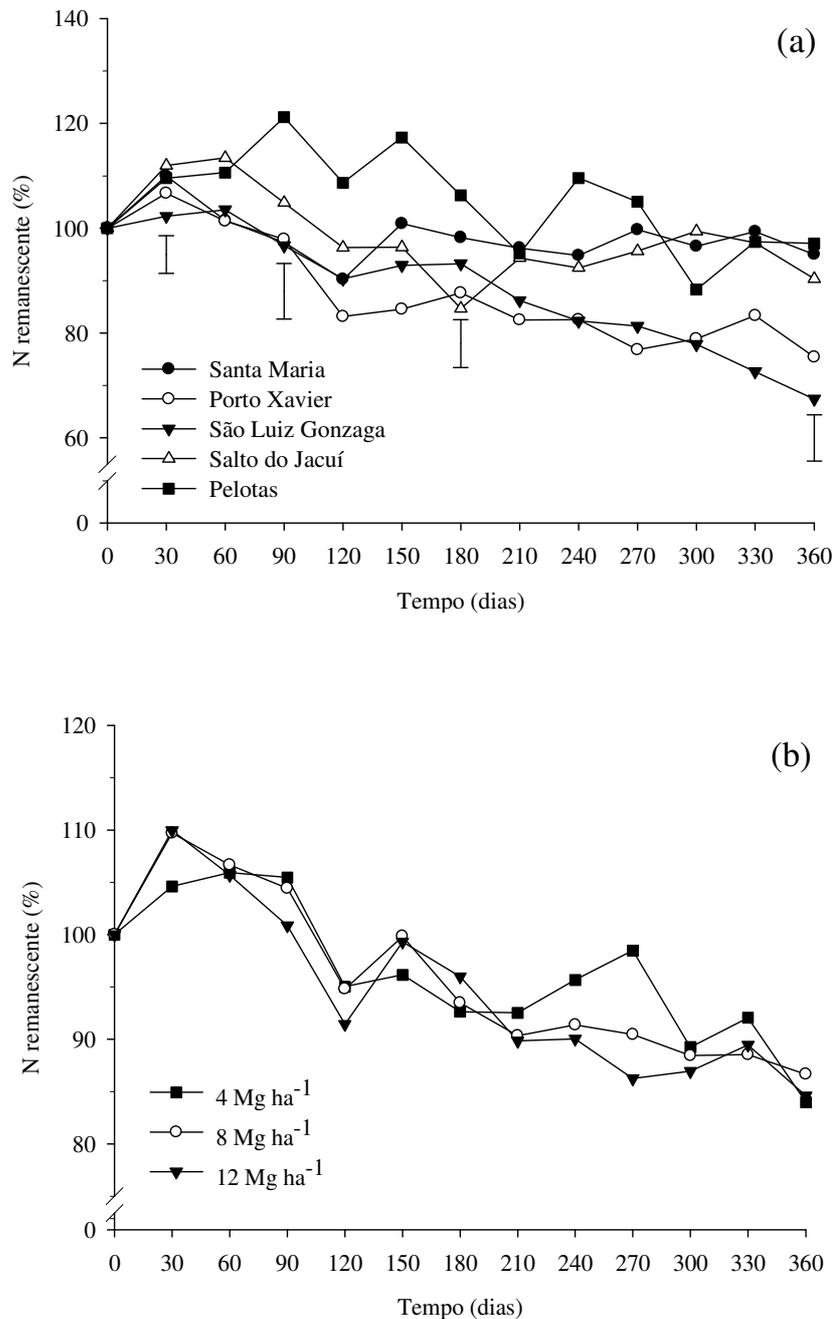


Figura 5. Nitrogênio remanescente dos resíduos culturais de cana-de-açúcar durante 360 dias de avaliação da decomposição na superfície do solo, na média das 3 doses de palha em cada ambiente (a) e na média dos cinco ambientes em cada dose (b). As barras verticais representam a diferença mínima significativa entre as médias de cada tratamento (Tukey a 5%).

Após os 90 dias, o N presente nos resíduos passa a ser lentamente liberado para o solo, o que corrobora com Gava et al. (2005), que afirma que a disponibilidade do N dos resíduos para a planta aumenta na segunda metade do ciclo de cultivo, porém esta fonte pouco

contribuiu para a nutrição da cultura (Vitti et al., 2011) em virtude da concorrência pelo N com os microrganismos (Meier et al., 2006). Em estudo realizado através de simulações por Costa et al. (2014), ficou evidente que para a manutenção da produtividade a longo prazo com a retirada da palha, seria necessário aumentar a adubação nitrogenada em mais de 80 kg ha<sup>-1</sup> de N.

Ao final dos 360 dias, a quantidade de NR na média dos cinco ambientes nas três doses foi de 84, 87 e 85% para os tratamentos com 4, 8 e 12 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos vegetais, respectivamente. Esses resultados ficam acima dos 50% de NR encontrado por Fortes (2010) sem a aplicação de fertilizante nitrogenado, mas confirmam a mineralização do N de resíduos de cana-de-açúcar encontrada em outros estudos no Brasil, que variam de 3 a 30% após um ano (Oliveira et al., 1999; Gava et al., 2002; Oliveira et al., 2002; Faroni et al., 2003).

Em relação aos locais, percebe-se que a cinética do NR já ocorre de forma diferenciada logo no início do estudo, e que solos que contêm maiores teores de C e N (Tabela 1) apresentam queda mais acentuada de NR em relação aos demais, podendo haver relação direta com a quantidade de MSR ao longo do tempo.

De maneira geral, ocorre a imobilização de N do solo por um período de 90 dias, salvo Pelotas, onde a imobilização se estende por 270 dias. Essa imobilização de N prolongada pode estar diretamente ligada ao baixo teor de N total presente no solo (Tabela 1), visto que o N permanece na biomassa microbiana decompositora.

Ao término do estudo, o NR na superfície do solo na média das três doses variou de 97% em Pelotas a 67% em São Luiz Gonzaga (Figura 5a). Estes resultados divergem dos encontrados por Robertson & Thorburn (2007b), que após 12 meses, verificaram NR de 5 a 33% em três ambientes contrastantes.

O teor de NR possui relação inversa aos teores de C e N total presentes no solo. Logo, pode-se afirmar que em teores de matéria orgânica do solo (MOS) elevados, parte do N presente nos resíduos culturais será reaproveitado pelas plantas já durante os primeiros meses, diferentemente de locais onde o solo possui baixo teor de MO, e o N presente nos resíduos permanece imobilizado por um período prolongado. Existe relação direta entre o teor de argila e a MOS. Logo, a relação encontrada entre o teor de argila e MOS para com o NR é a mesma. As maiores quantidades da fração argila (dados não mostrados) coincidiram com os menores valores de NR ao final do estudo, 67 e 75% para São Luiz Gonzaga e Porto Xavier, respectivamente. Mariano et al., (2013) também encontraram correlação das frações do solo (areia, silte e argila) com os índices utilizados para a predição de N mineralizável em cinco solos cultivados com cana-de-açúcar.

A concentração de N dos resíduos culturais ao longo do tempo não sofreu interferência da quantidade de resíduos aportada na superfície do solo (Figura 6b), por outro lado, o ambiente de estudo exerce influência significativa (Figura 6a) ( $P < 0,05$ ). A interação ambiente x dose não foi significativa ( $P < 0,05$ ).

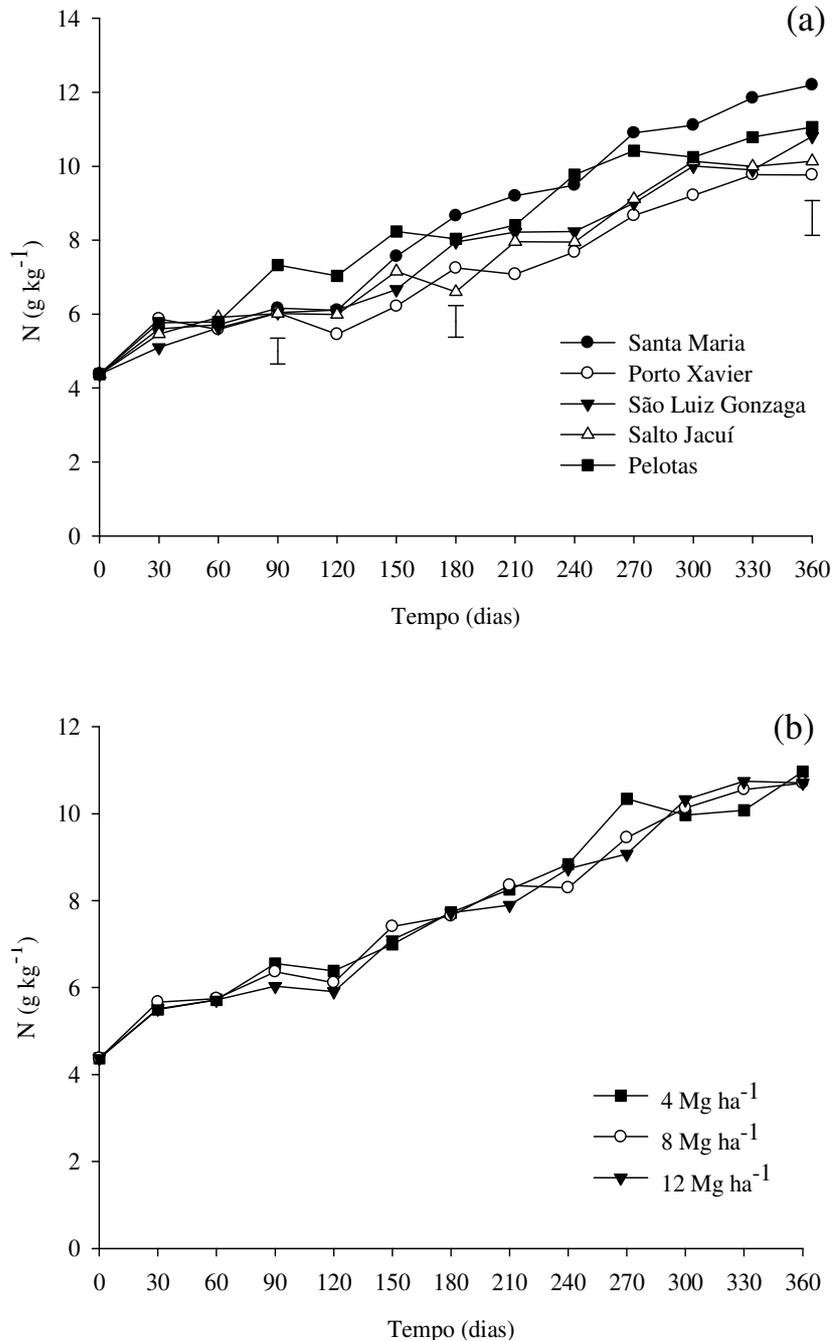


Figura 6. Concentração de nitrogênio dos resíduos culturais de cana-de-açúcar durante 360 dias de avaliação da decomposição na superfície do solo, na média das 3 doses de palha em cada ambiente (a) e na média dos cinco ambientes em cada dose (b). As barras verticais representam a diferença mínima significativa entre as médias de cada tratamento (Tukey a 5%).

No período inicial, a concentração de N dos resíduos foi de  $4,4 \text{ g kg}^{-1}$ , abaixo dos  $5,7 \text{ g kg}^{-1}$  verificado em outros estudos (Vitti et al., 2008; Vitti et al., 2011; Fortes et al., 2012). A dinâmica apresentada pela concentração de N nos resíduos foi de elevação ao longo do período avaliado. Possivelmente a elevação dos teores na palha se deva a biomassa microbiana aderida a palha que para decompor a mesma imobiliza N mineral do solo para atender a demanda biossintética. Ao término do estudo, se apresentavam valores entre 10 e  $12 \text{ g kg}^{-1}$ , para Porto Xavier e Santa Maria, respectivamente. Resultados semelhantes foram encontrados por Robertson & Thorburn (2007a), que avaliaram a decomposição de resíduos de cana-de-açúcar na Austrália por um ano, em três ambientes distintos e em dois períodos, e encontraram ao final do estudo concentrações finais de 9 a  $14 \text{ g kg}^{-1}$  de resíduos culturais (109 a 137% superior a concentração inicial). A maior variação encontrada por esses autores pode estar relacionada as condições edafoclimáticas distintas que afetaram o processo de decomposição.

A concentração de N dos resíduos culturais apresentou forte dependência dos teores de N total presentes no solo (Tabela 1), em que os menores teores de N total do solo apresentaram maiores concentrações de N nos resíduos culturais. Tal fato pode estar associado às características físicas do solo, visto que os locais que apresentaram maiores concentrações ao final do estudo possuem textura franca arenosa, diferentemente dos demais que possuem textura mais argilosa.

### **2.3 Conclusões**

A quantidade de resíduos culturais de cana-de-açúcar depositados na superfície do solo não afeta a decomposição e a liberação de carbono e nitrogênio dos resíduos culturais em condições de campo.

A decomposição e liberação de carbono e nitrogênio dos resíduos culturais da cana-de-açúcar são influenciadas pelas condições edafoclimáticas de cada ambiente.

### **2.4 Referências**

ACOSTA, J.A. de A.; AMADO, T.J.C.; SILVA, L.S. da; SANTI, A.; WEBER, M.A. Decomposição da fitomassa de plantas de cobertura e liberação de nitrogênio em função da

quantidade de resíduos aportada ao solo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.44, p.801-809, 2014.

AITA, C.; GIACOMINI, S.J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.601-612, 2003.

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

CARVALHO, J.L.N.; OTTO, R.; FRANCO, H.C.J.; TRIVELIN, P.C.O. Input of sugarcane post-harvest residues into the soil. **Scientia Agricola**. v.70, p.336-344, 2013.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, nono levantamento**. Brasília: Conab, 2014. 72p. Disponível em:<[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14\\_04\\_15\\_15\\_44\\_37\\_boletim\\_cana\\_portugues\\_-\\_1o\\_lev\\_-\\_14.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_04_15_15_44_37_boletim_cana_portugues_-_1o_lev_-_14.pdf)>. Acesso em: 02 de junho de 2014.

DOUGLAS, C.L.Jr.; RICKMAN, R.W. Estimating crop residue decomposition from air temperature, initial nitrogen content, and residue placement. **Soil Science Society of American Journal**. v.56, p.272-278, 1992.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006, 306p.

ESPINDOLA, J.A.A.; GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.L.; TEIXEIRA, M.G.; URQUIAGA, S. Decomposição e liberação de nutrientes acumulados em leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.321-328, 2006.

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

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

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.

GAVA, G.J.C.; TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, M.W.; PENATTI, C.P. Crescimento e acúmulo de nitrogênio em cana-de-açúcar cultivada em solo coberto com palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.1347-1354, 2001.

GAVA, G.J.C.; TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C.; OLIVEIRA, M.W. Balanço do nitrogênio da uréia e da palha de cana no sistema solo-cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p.689-695, 2005.

GOLDEMBERG, J. Ethanol for a sustainable energy future. **Science**, v.315, p.808-810, 2007.

KATTERER, T.; REICHSTEIN, M.; ANDRÉN, O.; LOMANDER, A. Temperature dependence of organic matter decomposition: a critical review using data analyzed with different models. **Biology and Fertility of Soils**, v.27, p.258-262, 1998.

MARIANO, E.; TRIVELIN, P.C.O.; LEITE, J.M.; MEGDA, M.X.V.; OTTO, R.; FRANCO, H.C.J. Incubation methods for assessing mineralizable nitrogen in soils under sugarcane. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.450-461, 2013.

MARIN, F.R.; THORBURN, P.J.; COSTA, L.G. da; OTTO, R. Simulating Long-Term Effects of Trash Management on Sugarcane Yield for Brazilian Cropping Systems. **Sugar Tech**. v.16, p.164–173, 2014.

OLIVEIRA, M.W.; TRIVELIN, P.C.O.; KINGSTON, G.; BARBOSA, M.H.P.; VITTI, A.C. Decomposition and release of nutrients from sugarcane trash in two agricultural environments in Brazil. In: AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 24. Cairns, 2002. **Proceedings**. Cairns, D.M. Hogarth, 2002. 40p.

PAUL, E.A.; CLARK, F.E. **Soil microbiology and biochemistry**. 2.ed. Califórnia, Academic Press, 1996. 340p.

RECOUS, S.; ROBIN, D.; DARWIS, D.; MARY, B. Soil inorganic N availability: Effect on maize residue decomposition. **Soil Biology and Biochemistry**, v.27, p.1529-1538, 1995.

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, 2007a.

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

SOUZA, H.A. de; MARCELO, A.V.; CENTURION, J.F. Carbono orgânico e agregação de um Latossolo Vermelho com colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Ciência Agronômica**, v.43, p.658-663, 2012.

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

TEDESCO, M.J; GIANELLO, C; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.

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.

TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G.; FABIAN, A.J. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.421-428, 2008.

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

WEILER, D.A. **Decomposição de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo e emissões de óxido nitroso**. 2012. 72p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

WIEDER, R.K; LANG, G.E. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. **Ecology**, v.63, p.1636-1642, 1982.

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, p.287-293, 2011.

### **3 ARTIGO II - DECOMPOSIÇÃO DOS COMPONENTES BIOQUÍMICOS ESTRUTURAIS DE CANA-DE-AÇÚCAR EM FUNÇÃO DA QUANTIDADE DE RESÍDUOS CULTURAIS**

#### **3.1 Resumo**

O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da quantidade de resíduos culturais de cana-de-açúcar RB956911 da superfície do solo na decomposição da hemicelulose (HEM), celulose (CEL) e lignina (LIG). O experimento foi conduzido em Argissolo Vermelho distrófico arênico na área experimental do departamento de solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições. O estudo teve avaliações mensais por 360 dias e início após a safra 2012. Os tratamentos compreenderam o aporte de quantidades equivalentes a 4, 8 e 12 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos culturais. Os quadrados de madeira com os resíduos culturais foram dispostos na entrelinha durante o ciclo vegetativo da cultura. Foram coletados dados climáticos (precipitação e temperatura do ar) no ambiente avaliado. As análises de CEL, HEM e LIG foram realizadas conforme o método de Van Soest (1963). A quantidade de resíduos não exerceu influência na decomposição dos componentes avaliados, e ao final do estudo e na média dos três tratamentos, os conteúdos remanescentes, expressos em % do inicial, foram de 33, 23 e 81% para CEL, HEM e LIG, respectivamente. A dinâmica da decomposição dos constituintes avaliados não é afetada pela retirada dos resíduos culturais da superfície do solo.

**Palavras-chave:** Saccharum. Lignina. Celulose. Hemicelulose. Colheita mecanizada.

#### **3.2 Introdução**

Na safra agrícola de 2014/15, estão previstos 9,13 milhões de hectares cultivados com a cultura da cana-de-açúcar no Brasil, (CONAB, 2014). Atualmente, a adoção da prática da colheita mecanizada possibilita a permanência dos resíduos culturais na superfície do solo, e

por consequência, a melhoria nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (Cantarella, 2010).

O aporte de resíduos culturais na superfície do solo oriundos de colheita mecanizada é de aproximadamente 10% da matéria seca (MS) produzida de colmos (Robertson & Thorburn, 2007). No entanto, com a retirada total ou parcial dos resíduos culturais para a produção de bioetanol, é reduzida a proteção do solo, visto que são resíduos com alta relação C/N, o que favorece a lenta decomposição (Robertson & Thorburn, 2007; Digonzelli et al., 2011). Nesse sentido, os resíduos culturais atuam como uma proteção e podem alterar o conteúdo de nitrogênio (N) no solo, além de elevar o conteúdo de carbono (C) orgânico do solo (Hemwonget al., 2008).

Os resíduos culturais são compostos basicamente pelos mesmos componentes, porém em diferentes proporções (Hadas et al., 2004). De maneira geral, na cana-de-açúcar o conteúdo de hemicelulose (HEM) varia de 260 a 310 g kg<sup>-1</sup>, celulose (CEL) de 410 e 480 g kg<sup>-1</sup> e lignina (LIG) de 70 a 250 g kg<sup>-1</sup> (Faroni et al., 2003; Singh et al., 2008; CGEE, 2009; Fortes et al., 2012). A variação no conteúdo dos componentes bioquímicos de cana-de-açúcar é influenciada por vários fatores, entre eles, o tipo de solo e o manejo adotado no cultivo (Oliveira et al., 1999; Faroni et al., 2003; Meier et al., 2006). Existem vários fatores que atuam na decomposição dos resíduos culturais na superfície do solo, dentre os quais estão a composição bioquímica dos resíduos (Aita & Giacomini, 2003; Carvalho et al., 2008; Carvalho et al., 2011).

A caracterização da composição bioquímica de resíduos culturais é realizada através do método de Van Soest (1963), que separa os componentes dos resíduos culturais em quatro frações. A HEM, CEL e LIG são constituintes estruturais dos resíduos culturais (paredes primárias e secundárias) e, que apresentam baixa decomposição ao longo do tempo (Jensen et al., 2005). Já a fração solúvel (FSVS) é rapidamente decomposta através do rápido crescimento microbiano, o que pode exigir elevadas concentrações de nitrogênio em um curto período (Swift et al., 1979).

A interferência que a quantidade de resíduos culturais depositados na superfície do solo exerce na decomposição dos componentes bioquímicos presentes nos resíduos ainda carece de estudos. No entanto, cada constituinte possui uma taxa de decomposição que varia de acordo com o meio, e pode ser afetada pelo volume total desse constituinte que foi adicionado ao solo. De posse dos resultados, poderemos inferir como ocorre a decomposição dos componentes bioquímicos em diferentes quantidades de resíduos de cana-de-açúcar a campo.

O presente estudo teve por objetivo avaliar o efeito da quantidade de resíduos culturais de cana-de-açúcar na superfície do solo sobre a decomposição das frações HEM, CEL e LIG da palha da cana-de-açúcar.

### **3.3 Materiais e Métodos**

#### **3.3.1 Locais e condições climáticas**

O presente estudo foi realizado em condições de campo durante o período de setembro de 2012 a agosto de 2013 (360 dias). O experimento foi conduzido em Argissolo Vermelho distrófico arênico (EMBRAPA, 2006) na área experimental do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Santa Maria (29°43'S, 53°42'W; 87 m de altitude). As propriedades químicas e físicas do solo na camada 0-10 cm são as seguintes: carbono total = 7,36 g kg<sup>-1</sup>; pH = 6; areia = 68%; silte = 22%; argila = 10% e a classe textural é franco arenosa.

O clima do local de estudo é classificado como subtropical úmido, tipo Cfa, conforme a classificação de Köppen. Os dados climáticos foram coletados em estação meteorológica situada na UFSM, distante a aproximadamente 2 km do local do estudo. A precipitação e a temperatura média nos intervalos de coleta estão apresentadas nas figuras 1 e 2, respectivamente. A precipitação total e o número de dias chuvosos no período experimental foram de 1853 mm e 188 dias, respectivamente.

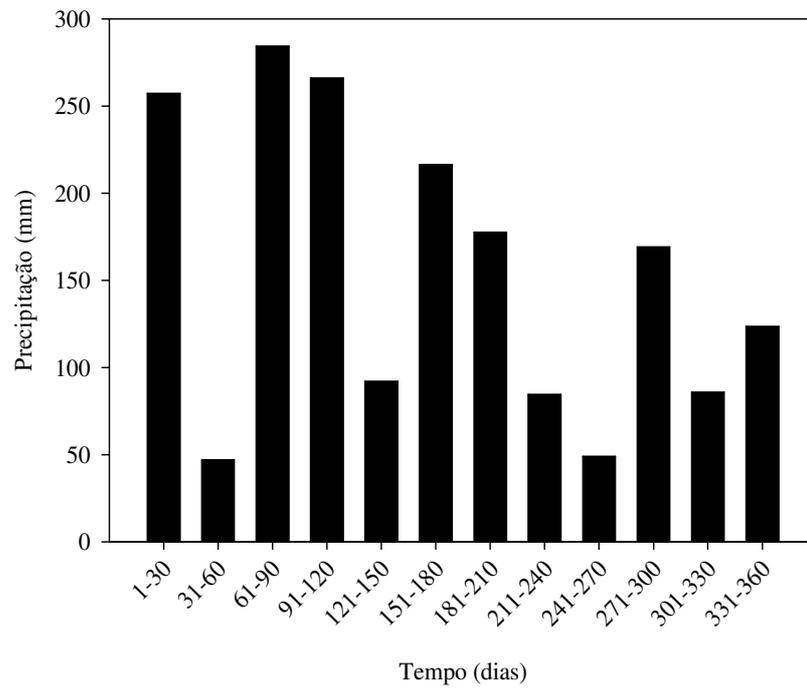


Figura 2. Precipitação registrada durante o período experimental em Santa Maria, RS.

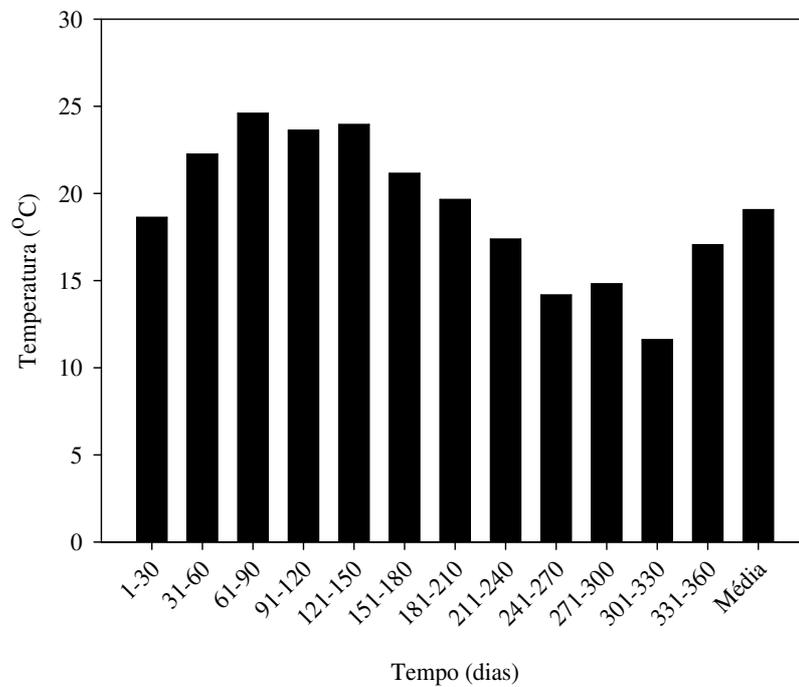


Figura 2. Temperatura média registrada durante o período experimental em Santa Maria, RS.

### 3.3.2 Resíduos culturais, delineamento experimental e tratamentos

Os resíduos culturais da cana-de-açúcar RB 956911 foram provenientes de um experimento instalado na área experimental do Departamento de Solos da UFSM e foram coletados quando a cultura se encontrava no estágio de maturação. A coleta foi realizada manualmente em 27/07/12 com o objetivo de separar a palha que envolve o colmo (palha lateral) e o ponteiro da planta (após o último internódio). Após a coleta, os resíduos culturais foram secos ao ar por 10 dias, em seguida foram triturados em trilhadeira de grãos para uniformizar o tamanho de partículas dos resíduos e também obter resíduos semelhantes aos obtidos com a colheita mecanizada. Após a trituração, os resíduos foram secos ao ar até peso constante. A proporção das palhas (lateral e do ponteiro) na parte aérea da planta foi determinada em 10 plantas da cana-de-açúcar que foram coletadas e secas em estufa a 65°C. Os valores encontrados foram de 76% para a palha lateral e 24% para ponteiro.

Os tratamentos avaliados foram: T1 – 4 Mg ha<sup>-1</sup>; T2 – 8 Mg ha<sup>-1</sup> e T3 – 12 Mg ha<sup>-1</sup> de matéria seca (MS). Os resíduos culturais da parte aérea (palha lateral e ponteiro) de cada tratamento foram acondicionados dentro de quadros de madeira de 0,16 m<sup>2</sup> com dimensões internas de 40 cm x 40 cm x 8 cm (comprimento x largura x altura). Foram adicionados 64, 128 e 192 g de MS para os tratamentos com 4, 8 e 12 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Os quadros de madeira foram fechados na parte inferior com tela de nylon com malha de 2 mm para evitar a perda de resíduo vegetal, bem como um maior contato solo-resíduo. A parte superior do quadro de madeira foi fechada com tela plástica com malha de 10 mm para não limitar o acesso dos microrganismos do solo, além de reduzir as perdas de resíduos pelo vento. Optou-se pelo quadro em detrimento da bolsa de decomposição, pela melhor adaptação em maiores quantidades de resíduo vegetal, permitindo uma melhor distribuição do resíduo na superfície do solo na área interna do quadrado. A distribuição dos quadrados ocorreu no dia 22/09/2012.

Os quadros telados foram alocados em duas fileiras na entrelinha da cana-de-açúcar, no início da brotação e espaçados entre si em 10 cm. Buscou-se acondicionar os quadros telados em relevo plano, a fim de promover o maior contato solo-resíduo. Uma subamostra dos resíduos culturais utilizados no dia da instalação do experimento foi armazenada em sacos plásticos, para as análises bioquímicas. Não houve adição de nenhum tipo de fertilizante nitrogenado para o cultivo da cana-de-açúcar durante o estudo de decomposição, a fim de evitar a elevação da taxa de decomposição dos resíduos pela disponibilidade de N.

### 3.3.3 Avaliações realizadas

As coletas dos quadros de madeira com os resíduos culturais foram realizadas aos 30 dias (T30), 60 dias (T60), 90 dias (T90), 120 dias (T120), 150 dias (T150), 180 dias (T180), 210 dias (T210), 240 dias (T240), 270 dias (T270), 300 dias (T300) e 360 dias (T360) após sua distribuição na superfície do solo, totalizando 12 coletas. A cada data de avaliação foram coletadas quatro repetições por tratamento em cada local de estudo.

Os resíduos culturais remanescentes dentro dos quadros de madeira foram armazenados em sacos de papel, e posteriormente, secos em estufa a 65°C. Posteriormente, os resíduos culturais foram separados do solo aderido com limpeza a seco, pesados e determinada a matéria seca remanescente (MSR). Em seguida, as amostras de tecido foram moídas em moinho do tipo Willey (1 mm). A quantificação do conteúdo de cinzas nas amostras, com três repetições para cada tratamento, foi obtida através da incineração de 1 grama de tecido vegetal em mufla a 550°C por 3 horas (Tedesco et al., 1995), para obter os resultados de MSR livre de contaminação por solo.

Nos resíduos culturais do início do experimento (T0) e na MSR aos T30, T60, T90, T120, T150, T180, T210, T240, T270, T300 e T360, foram determinados os conteúdos de celulose (CEL), hemicelulose (HEM) e lignina (LIG) conforme a metodologia descrita por Van Soest (1963). As amostras foram submetidas a análises laboratoriais e os resultados expressos como livre de cinzas. A fração solúvel de Van Soest (FSVS) não foi avaliada devido a alta variabilidade obtida pelos estudos antecessores.

A fibra em detergente neutro (FDN) foi obtida através da fervura de 0,3 g de resíduos a 130°C em bloco digestor por 60 minutos, acondicionados em tubos de digestão e acrescidos de 30 ml de solução detergente neutra. Após a fervura, a solução foi filtrada em cadinhos filtrantes de porosidade nº2 (previamente pesados) por sucção a vácuo, a amostra foi lavada três vezes com água destilada (90°C) e duas vezes com acetona (30-40 ml). Posteriormente os cadinhos foram secos em estufa a 105°C por 8 horas, acondicionados em dessecador até temperatura ambiente e posteriormente pesados. O conteúdo de FDN foi e calculado pela diferença de peso do cadinho antes e depois da fervura. A obtenção da fibra em detergente ácido (FDA) ocorreu de modo semelhante a FDN, para tal foram utilizados 0,6 g de resíduos e 60 ml de solução detergente ácida. Após a análise da FDA, a amostra contida no interior dos cadinhos permaneceu em contato com ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 72M) por 3 horas, posteriormente foram filtrados, lavados, secos e pesados conforme as análises anteriores. O

material remanescente nos cadinhos foi queimado em mufla por 500°C por 3 horas, acondicionados em dessecador e pesados.

O conteúdo de CEL foi obtido pela diferença entre a FDA e o peso pós-ácido. A diferença entre a FDN e a FDA origina a HEM. O conteúdo de LIG dos resíduos é obtido pela diferença entre o peso pós-ácido e o resíduo remanescente após a queima em mufla. Os resultados obtidos foram calculados em percentagem de MS a 105°C e posteriormente expressos em  $\text{g kg}^{-1}$  da MS.

#### 3.3.4 Análise estatística

Os resultados de CEL, HEM e LIG remanescentes nos resíduos culturais de cana-de-açúcar foram submetidos a análise de variância e as médias aos 30, 90, 180 e 360 dias, foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

### 3.4 Resultados e discussão

No início do experimento (T0) os resíduos culturais apresentavam conteúdos de 422, 390 e 89  $\text{g kg}^{-1}$  de resíduos para CEL, HEM e LIG, respectivamente. Conforme o esperado, cada constituinte avaliado apresentou concentração e dinâmica de decomposição diferenciada durante o período de avaliação, essa característica individual de cada constituinte na decomposição confere mudanças na composição bioquímica dos resíduos durante todo o processo de decomposição.

A concentração dos constituintes pode sofrer alterações durante o processo de decomposição devido ao meio, como relatado em Fadel et al., (2003), que ao avaliarem a composição bioquímica de resíduos de arroz em decomposição em função da umidade e teores de nitrogênio presentes no solo, constataram que a composição bioquímica dos resíduos pode ser modificada de acordo com a adição de uréia e da umidade do solo.

### 3.4.1 Celulose

A concentração de CEL dos resíduos culturais de cana-de-açúcar utilizados no estudo (Figura 3a) e sua decomposição não foi afetada pela quantidade de resíduos adicionados no solo (Figura 3b) ( $P < 0,05$ ).

A CEL remanescente, expressa em percentagem do inicial, apresentou duas fases distintas, ambas com duração de aproximadamente 180 dias (Figura 3b). A decomposição na fase inicial da CEL (até 180 dias) foi de 58% e, posteriormente, na fase final (de 181 até 360 dias) foi de apenas de 9%. Esse comportamento diferenciado provavelmente esteja associado a precipitação (Figura 1) e temperatura (Figura 2), que foram superiores no período inicial, o que favorece a decomposição. Outro fator que pode ter acentuado a decomposição no primeiro período é a forma com que a CEL se encontra nos resíduos vegetais (Sánchez, 2009). A CEL está presente na parede celular das células vegetais, na sua maioria na forma cristalina. No entanto, há uma pequena parte da CEL que apresenta cadeias amorfas e consequentemente, maior susceptibilidade a degradação enzimática (Pérez et al., 2002), que possivelmente tenha sido decomposta no período inicial de decomposição.

Ao término do estudo (360 dias), a concentração de CEL nos tratamentos com 4, 8 e 12 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos foi de 381, 362 e 386 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 3a). O conteúdo final de CEL do presente estudo corrobora com outros autores, que avaliaram a decomposição de resíduos de cana-de-açúcar por um ano e encontraram nos resíduos remanescentes, conteúdos de CEL de 370 g kg<sup>-1</sup> (Fortes et al., 2012) e 325 g kg<sup>-1</sup> (Faroni et al., 2003).

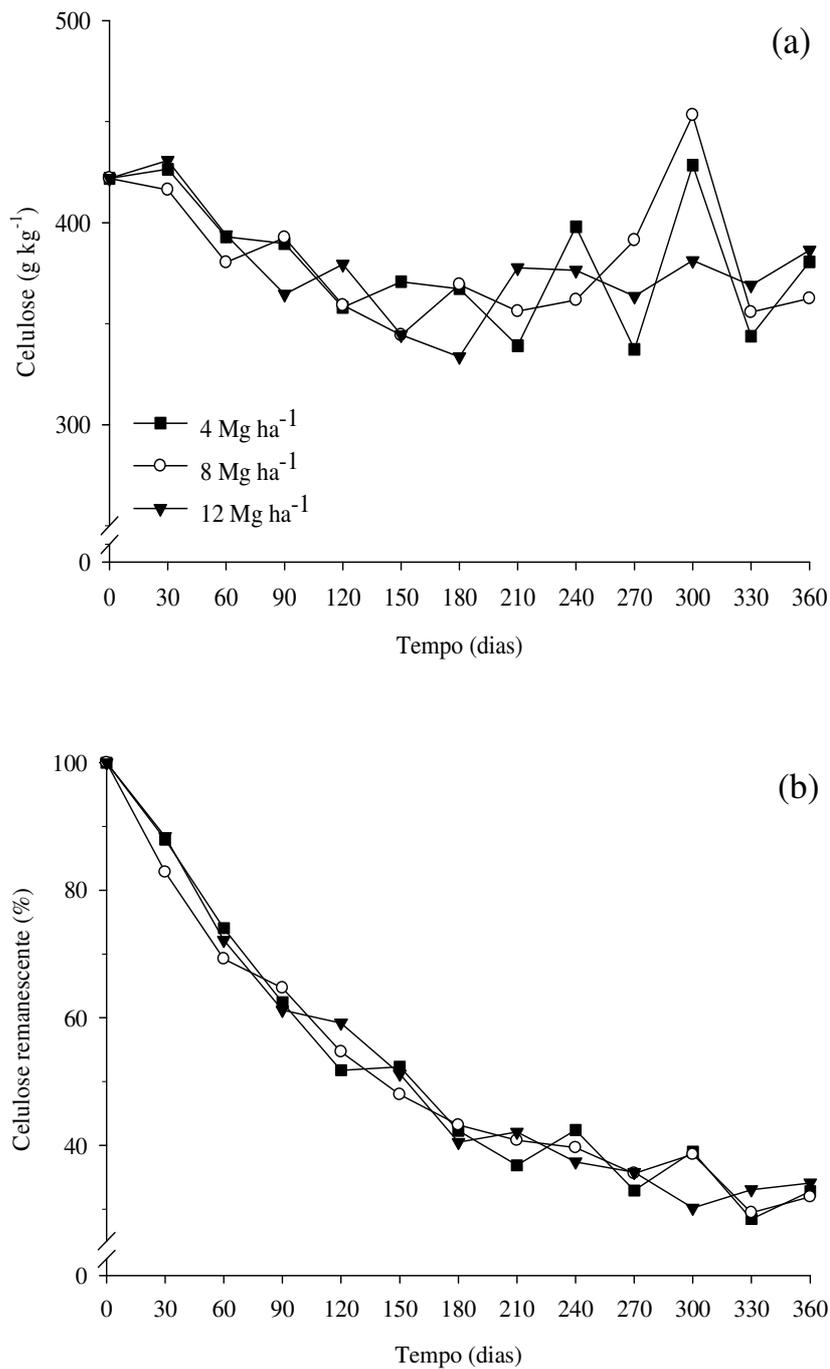


Figura 3. Concentração (a) e quantidades remanescentes (b) de celulose nos resíduos culturais de cana-de-açúcar durante a decomposição na superfície do solo. Os valores representam a média das quatro repetições.

Considerando a CEL remanescente ao final do período de avaliação, observa-se valores de 33, 32 e 34% para os tratamentos com 4, 8 e 12 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos, respectivamente (Figura 3b). Em estudo semelhante, Faroni et al. (2003) encontraram 29% de

CEL remanescente após um ano de avaliações com resíduos de cana-de-açúcar. No entanto, os resultados deste estudo são distantes dos observados por Fortes et al. (2012), que avaliaram a degradação de resíduos de cana-de-açúcar e encontraram 90% de CEL remanescente após um ano de avaliações com resíduos na superfície do solo. É possível que o alto conteúdo de LIG ( $248 \text{ g kg}^{-1}$ ) tenha dificultado a decomposição da CEL no trabalho de Fortes et al. (2012). A CEL e LIG estão entrelaçados e quimicamente ligados por ligações covalentes cruzadas e por forças não covalentes (Pérez et al., 2002), o que forma uma barreira que impõe resistência ao ataque microbiano e dificulta a decomposição dos demais compostos dos resíduos (Gressel, 2008; Pauly & Keegstra, 2008; Sánchez, 2009).

### 3.4.2 Hemicelulose

A quantidade de resíduos culturais de cana-de-açúcar na superfície do solo não alterou a decomposição da HEM (Figura 4b) ( $P < 0,05$ ). No entanto, o conteúdo inicial de HEM encontrado no presente estudo (Figura 4a) está acima do que o encontrado por outros autores, que relatam que o conteúdo de HEM dos resíduos de cana-de-açúcar varia de 260 a  $310 \text{ g kg}^{-1}$  (Singh et al., 2008; CGEE, 2009).

Nos primeiros 150 dias, a concentração de HEM se manteve semelhante ao encontrado inicialmente, após esse período ocorreu um declínio na concentração deste componente nos resíduos culturais remanescentes da cana-de-açúcar. Pelo fato de não ocorrer ampla variação na concentração de HEM, pode-se inferir que a sua velocidade de decomposição é semelhante a do resíduo cultural durante esse período inicial de decomposição. A concentração estável da HEM nos primeiros 150 dias pode ocorrer devido a maior facilidade de decomposição de outros componentes dos resíduos mais facilmente decomponíveis, como por exemplo, a fração mais facilmente decomponível da CEL (Sánchez, 2009). Por exemplo, a CEL apresentou redução 50% para este período (Figura 3b).

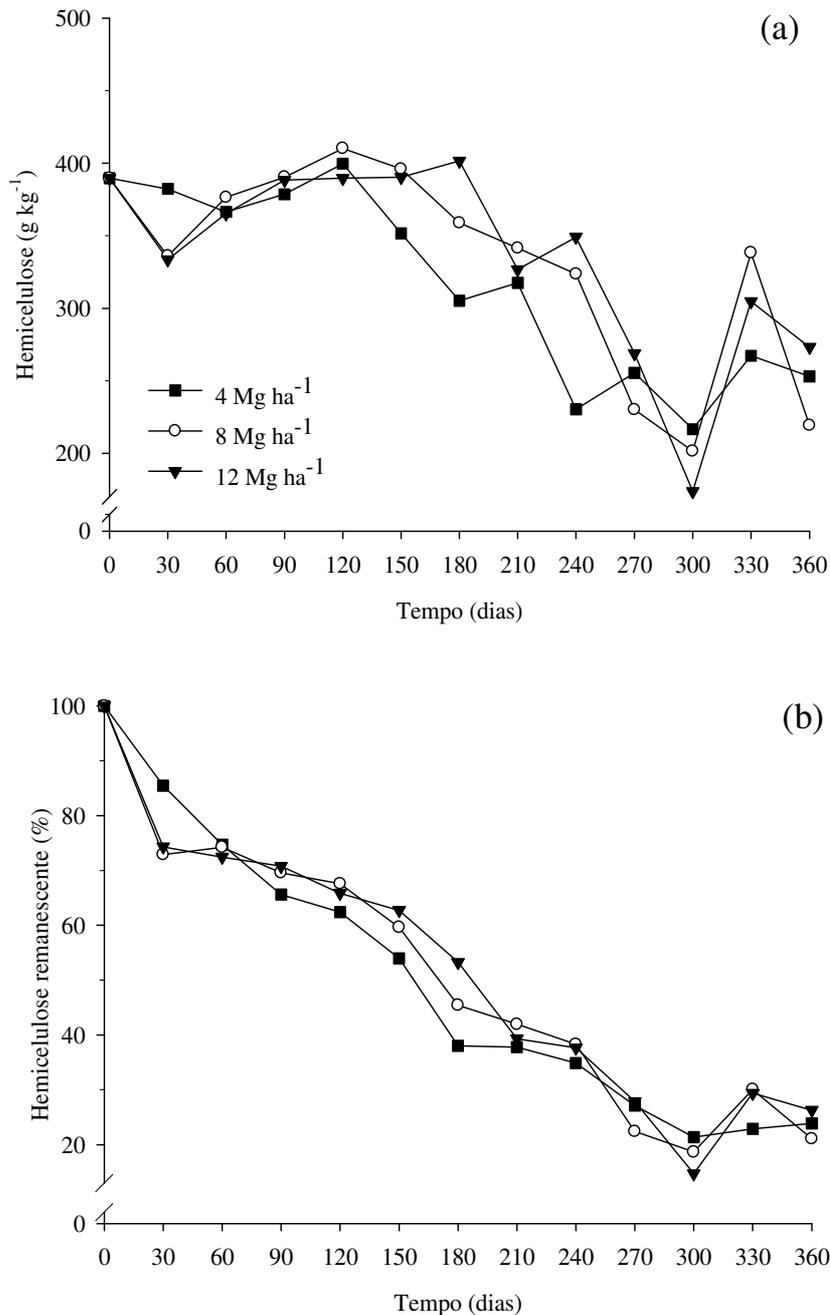


Figura 4. Concentração (a) e quantidades remanescentes (b) de hemicelulose nos resíduos culturais de cana-de-açúcar durante a decomposição na superfície do solo. Os valores representam a média das quatro repetições.

Ao final das avaliações (360 dias), a concentração de HEM foi de 251, 219 e 273 g kg<sup>-1</sup> para os tratamentos com 4, 8 e 12 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 4a). Resultados diferentes foram encontrados por Fortes et al. (2012), que avaliaram a decomposição de resíduos de cana-de-açúcar e encontraram conteúdo de HEM de 169 g kg<sup>-1</sup> aos 360 dias, ante 259 g kg<sup>-1</sup> no início de decomposição.

Observa-se também que a taxa de decomposição da HEM permanece constante durante quase todo o período de decomposição dos resíduos, com uma pequena redução próxima ao término do estudo (a partir dos 270 dias) (Figura 4b). É possível que nesse período, a degradação tenha reduzido em virtude da baixa concentração de hemicelulose, aliada a significativa concentração de lignina que permanece presente (Figura 5a). Logo, permanece apenas a hemicelulose que pode estar fortemente entrelaçada com a lignina, o que dificulta a sua degradação. Outros fatores que podem estar associados a redução da decomposição da HEM a partir dos 270 dias é a baixa temperatura e regime pluviométrico registrados no período (Figuras 1 e 2), o que reduz a decomposição dos resíduos de modo geral.

A HEM remanescente, expressa em percentagem da inicial, apresentou ao final do estudo, 24, 21 e 26% para os tratamentos com 4, 8 e 12 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos, respectivamente. Esses resultados corroboram com Oliveira et al. (2002), o qual encontraram 19% da HEM remanescente em resíduos de cana-de-açúcar após 11 meses de estudo. No entanto, esses resultados estão abaixo do encontrado por Faroni et al. (2003) com 38% de HEM remanescente encontrados após um ano de avaliação de decomposição da HEM de resíduos de cana-de-açúcar na superfície do solo. Diferenças na composição química da palha e das condições edafoclimáticas em cada estudo podem explicar essas variações observadas nos valores medidos de HEM remanescente.

### 3.4.3 Lignina

A concentração de LIG nos resíduos culturais de cana-de-açúcar e sua degradação não sofreu influência da quantidade de resíduos ao longo do tempo (Figura 5a) ( $P < 0,05$ ). Em estudos semelhantes, o conteúdo de LIG dos resíduos de cana-de-açúcar tem variado de 70 a 250 g kg<sup>-1</sup> (Faroni et al., 2003; Singh et al., 2008; CGEE, 2009; Fortes et al., 2012), similar ao encontrado no presente estudo.

A concentração de LIG apresentou comportamento diferente da CEL e HEM (Figuras 3a e 4a) durante o período avaliado. Em decorrência de sua baixa taxa de decomposição (menor do que a decomposição dos resíduos em geral), ocorreu a elevação da concentração de LIG nos resíduos, que ao término do experimento, apresentou 190, 193 e 201 g kg<sup>-1</sup> para os tratamentos com 4, 8 e 12 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos, respectivamente.

Em função de sua concentração nos resíduos ter aumentado em média 2,2 vezes no período avaliado, estima-se que a decomposição da LIG seja 2,2 vezes menor que a decomposição dos resíduos de cana-de-açúcar de modo geral. Esse resultado pode possibilitar a inferência da quantidade de resíduos de cana-de-açúcar que foram decompostos em determinado local, apenas com a concentração de lignina da variedade cultivada e dos resíduos que permaneceram em decomposição pelo período de um ano.

A LIG remanescente, expressa em percentagem do inicial, apresentou ao final do estudo 78, 81 e 84% para os tratamentos com 4, 8 e 12 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos, respectivamente (Figura 5b). No trabalho de Fortes et al. (2012), foi encontrado somente 69% da LIG remanescente nos resíduos de cana-de-açúcar. A maior decomposição encontrada por Fortes et al. (2012) pode estar associada ao alto conteúdo inicial de LIG, que foi de 248 g kg<sup>-1</sup>, 2,8 vezes superior o do presente estudo e ao solo argiloso, diferentemente do solo do presente estudo, que possui textura franco arenosa. Além disso, a baixa decomposição da LIG no presente estudo pode estar relacionada com a radiação solar. Austin & Ballaré (2010) avaliaram o efeito da fotodegradação da LIG em gramíneas perenes, e encontraram relação direta entre a decomposição da LIG e a radiação solar ( $R^2 = 0,92$ ). No presente estudo, pode ter ocorrido a redução da capacidade de decomposição da LIG pelo sombreamento das plantas de cana-de-açúcar que estavam em pleno crescimento vegetativo durante as avaliações. Embora no presente estudo, a LIG represente uma pequena fração dos resíduos culturais, a sua degradação pode influenciar a degradação de outros compostos presentes nos resíduos (Austin & Ballaré, 2010), conforme discutido acima para a CEL.

Silva et al. (2008) e Carvalho et al. (2008) avaliaram a decomposição em várias espécies de plantas, e encontraram maior decomposição nas espécies que apresentaram menor concentração inicial de LIG. Porém, Aita & Giacomini (2003) não encontraram essa relação quando estudaram a decomposição de plantas de cobertura, o que indica que o uso do conteúdo de LIG não pode ser usado isoladamente para prever a decomposição de resíduos culturais no solo.

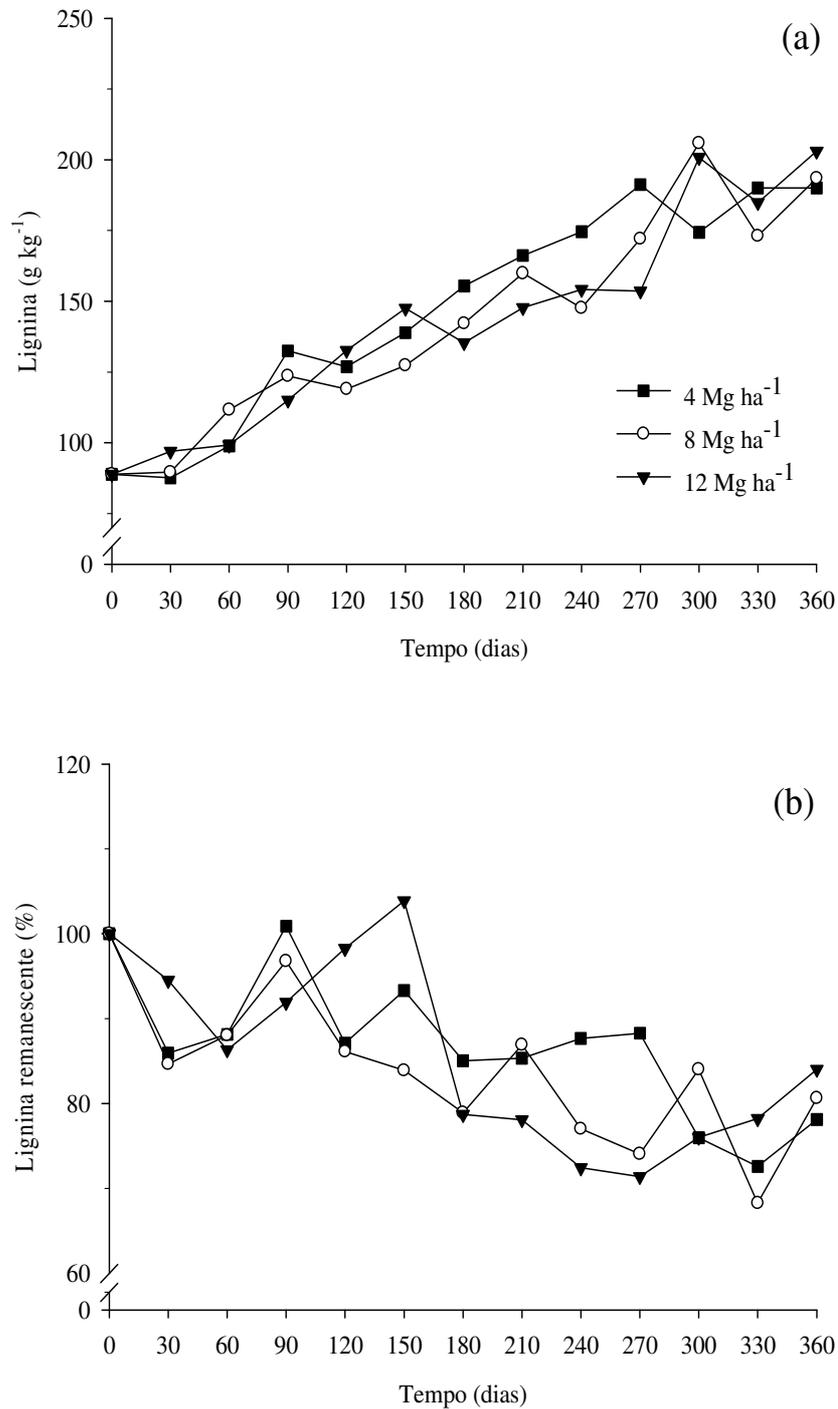


Figura 5. Concentração (a) e quantidades remanescentes (b) de lignina nos resíduos culturais de cana-de-açúcar durante a decomposição na superfície do solo. Os valores representam a média das quatro repetições.

### 3.5 Conclusões

A quantidade de resíduos culturais de cana-de-açúcar depositada na superfície do solo não afeta a decomposição da celulose, hemicelulose e lignina presente na palha.

### 3.6 Referências

AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.601-612, 2003.

AUSTIN, A.T.; BALLARÉ, C.L. Dual role of lignin in plant litter decomposition in terrestrial ecosystems. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA**, Washington, v.107, p.4618-4622, 2010.

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

CARVALHO, A.M. de; BUSTAMANTE, M.M. da C.; SOUZA JUNIOR, J.G. de 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; SOUZA, L.L.P. de; JÚNIOR, R.G.; ALVES, P.C.A.C.; VIVALDI, L.J. Cover plants with potential use for crop-livestock integrated systems in the Cerrado region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1200-1205, 2011.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS – CGEE. **Bioetanol combustível: uma oportunidade para o Brasil** – Brasília, DF, 2009. 536p. Disponível em: <[http://www.cogen.com.br/paper/2010/Livro\\_Bioetanol\\_Cana\\_Acucar\\_2009.pdf](http://www.cogen.com.br/paper/2010/Livro_Bioetanol_Cana_Acucar_2009.pdf)> Acesso em: 02 de junho de 2014.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, nono levantamento**. Brasília: Conab, 2014. 72p. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14\\_04\\_15\\_15\\_44\\_37\\_boletim\\_cana\\_portugues\\_-\\_1o\\_lev\\_-\\_14.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_04_15_15_44_37_boletim_cana_portugues_-_1o_lev_-_14.pdf)>. Acesso em: 02 de junho de 2014.

DIGONZELLI, P.A.; TONATTO, M.J.; ROMERO, E.R.; SANZANO, G.A.; ULLIVARRI, J.F. DE.; GIARDINA, J.A.; SCANDALIARIS, J. Assessing a sustainable sugar cane production system in Tucumán, Argentina: Part 2: Soil water and thermal regime, stalk population dynamics and sugarcane production. **Revista Industrial y agrícola de Tucumán [online]**, v.88, p.01-12, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006, 306p.

FADEL, R.; ROSA, B.; OLIVEIRA, I.P. de. et al. Avaliação de diferentes proporções de água e de uréia sobre a composição bromatológica da palha de arroz. **Ciência Animal Brasileira**, v.4, p.101-107, 2003.

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, 29, Ribeirão Preto, 2003. **Anais**. Ribeirão Preto, UNESP/SBCS, 2003. CD ROM.

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

GRESSEL, J. Transgenics are imperative for biofuel crops. **Plant Science**, v.174, p.246-263, 2008.

HADAS, A.; KAUTSKY, L.; GOEK, M.; KARA, E.E. Rates of decomposition of plant residues and available nitrogen in soil, related to residue composition through simulation of carbon and nitrogen turnover. **Soil Biology & Biochemistry**, v.36, p.255-266, 2004.

HEMWONG, S.; CADISCH, G.; TOOMSAN, B.; LIMPINUNTANA, V.; VITYAKON, P.; PATANOTHAI, A. Dynamics of residue decomposition and N<sub>2</sub> fixation of grain legumes upon sugarcane residue retention as an alternative to burning. **Soil Tillage Research**. v.99, p.84-97. 2008.

HOBBIE, S.E.; OLEKSYN, J.; EISSENSTAT, D.M.; REICH, P. Fine root decomposition rates do not mirror those of leaf litter among temperate tree species. **Oecologia**, v.162, p.505-513, 2010.

JENSEN, L.S.; SALO, T.; PALMASON, F.; BRELAND, T.A.; HENRIKSEN, T.M.; TENBERG, B.; PEDERSEN, A.; LUNDSTRÖM, C.; ESALA, M. Influence of biochemical

quality on C and N mineralisation from a broad variety of plant materials in soil. **Plant and Soil**, v.273, p.307-326, 2005.

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.

OLIVEIRA, M.W.; TRIVELIN, P.C.O.; KINGSTON, G.; BARBOSA, M.H.P.; VITTI, A.C. Decomposition and release of nutrients from sugarcane trash in two agricultural environments in Brazil. In: AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 24., Cairns, 2002. **Proceedings**. Cairns, D.M. Hogarth, 2002. 40p.

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

PAULY, M.; KEEGSTRA, K. Cell-wall carbohydrate and their modification as a resource for biofuels. **Plant Journal**, v.54, p.559-568, 2008.

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.

REINERTSEN, S.A.; ELLIOTT, L.F.; COCHRAN, V.L.; CAMPBELL, G.S. The role of available C and N in determining the rate of wheat straw decomposition. **Soil Biology And Biochemistry**, v.16, p.459-464, 1984.

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.

SÁNCHEZ, C. Lignocellulosic residues: biodegradation and bioconversion by fungi. **Biotechnology Advances**, v.27, p.185-194, 2009.

SILVA, G.T.A.; MATOS, L.V.; NÓBREGA, P. de O.; CAMPELLO, E.F.C.; RESENDE, A.S. de. Chemical composition and decomposition rate of plants used as green manure. **Scientia Agricola**, v.65, p.298-305, 2008.

SINGH, P.; SUMAN, A.; TIWARI, P.; ARYA, N.; GAUR, A.; SHRIVASTAVA, A.K. Biological pretreatment of sugarcane trash for its conversion to fermentable sugars. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v.24, p.667-673, 2008.

TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Solos, 1995. 174 p.

VAN SOEST, P.J., 1963. Use of detergent in the analysis of fibrous feeds. Preparation of fiber residues of low nitrogen content. **Journal of the Association of Official Analytical Chemists**. v.46, p.825-835.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo demonstram que a quantidade de resíduos de cana-de-açúcar depositada na superfície do solo não afeta a decomposição, liberação de carbono e nitrogênio, e também na decomposição dos compostos bioquímicos (celulose, hemicelulose e lignina) presentes na palha. No entanto, foi demonstrado que o local de estudo exerce influência na decomposição e liberação de carbono e nitrogênio dos resíduos. Neste sentido, a precipitação é o principal fator controlador do processo de decomposição. Tal resultado indica que possivelmente as indicações de retirada de palha não sejam as mesmas para locais com distintas condições edafoclimáticas.

Outro aspecto importante está relacionado a dinâmica do nitrogênio na palha da cana-de-açúcar. Os resultados do presente estudo demonstram que os resíduos culturais de cana não liberam N nos estágios iniciais da decomposição, levando a imobilização de N do solo. Tal condição indica a necessidade de uso de fertilizante nitrogenado na cana soca para compensar a imobilização microbiana de N e disponibilizar N para a planta.

Estudos futuros são necessários para um melhor entendimento da ausência de efeito do maior contato entre o solo e a palha para condições com baixa quantidade de palha comparada a altas taxas de adição sobre a dinâmica de decomposição e liberação de nitrogênio. Além disso, é importante conhecer o impacto da retirada da palha da lavoura sobre aspectos relacionados ao acúmulo de C no solo e a emissão de gases de efeito estufa, com destaque para o óxido nitroso ( $N_2O$ ) para as condições do estado do Rio Grande do Sul.

## REFERÊNCIAS

AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.601-612, 2003.

BEZERRA, S. A.; CANTALICE, J. R. B. Influência da cobertura do solo nas perdas de água e desagregação do solo em entressulcos. **Revista Caatinga**, v.22, p.18-28, 2009.

CAMPOS, D.C. **Potencialidade do sistema de colheita sem queima da cana-de-açúcar para seqüestro de carbono**. 2003. 103p. Tese (Doutorado em Agronomia)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2003.

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

CARVALHO, A.M. de; BUSTAMANTE, M.M. da C.; SOUZA JUNIOR, J.G. de 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; SOUZA, L.L.P. de; JÚNIOR, R.G.; Alves, P.C.A.C.; VIVALDI, L.J. Cover plants with potential use for crop-livestock integrated systems in the Cerrado region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1200-1205, 2011.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, nono levantamento**. Brasília: Conab, 2014. 72p. Disponível em: [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14\\_04\\_15\\_15\\_44\\_37\\_boletim\\_cana\\_p\\_ortugues\\_-\\_1o\\_lev\\_-\\_14.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_04_15_15_44_37_boletim_cana_p_ortugues_-_1o_lev_-_14.pdf). Acesso em: 02 de junho de 2014.

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, 29. Ribeirão Preto, 2003. **Anais**. Ribeirão Preto, UNESP/SBCS, 2003. CD ROM.

FILHO, P.L.D. **Análise de custos na geração de energia com bagaço de cana-de-açúcar: um estudo de caso em quatro usinas de São Paulo**. 2009. 175p. Dissertação (Mestrado e Energia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

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

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.

GAVA, G.J.C.; TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, M.W.; PENATTI, C.P. Crescimento e acúmulo de nitrogênio em cana-de-açúcar cultivada em solo coberto com palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.1347-1354, 2001.

GAVA, G.J.C.; TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C.; OLIVEIRA, M.W. Recuperação do nitrogênio (N) da uréia e da palhada por soqueira de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.621-630, 2003.

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

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.

MYERS, R.J.K.; PALM, C.A.; CUEVAS, E.; GUNATILLEKE, I.U.N.; BROSSARD, M. The synchronization of nutrient mineralization and plant nutrient demand. In: WOOMER, P.L. & SWIFT, M.J., eds. The biological management of tropical soil fertility. **Wiley-Science Publications**, p.81-116, 1994.

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

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.

SANTOS, F.A.; QUEIRÓZ, J.H. de; 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, p.1004-1010, 2012.

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

SOUZA, G.S. de; SOUZA, Z.M. de; SILVA, R.B. da; ARAUJO, F.S.; BARBOSA, R.S. Compressibilidade do solo e sistema radicular da cana-de-açúcar em manejo com e sem controle de tráfego. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, p.603-612, 2012.

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

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.

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

VAN SOEST, P.J., 1963. **Use of detergent in the analysis of fibrous feeds. Preparation of fiber residues of low nitrogen content**. Journal of the Association of Official Analytical Chemists. v.46, p.825-835.