

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**USO DO LODO BIOLÓGICO DE INDÚSTRIA DE GELATINA
PARA ADUBAÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Isabella Mazer Guidi

Orientadora: Profa. Dra. Mara Cristina Pessôa da Cruz

Co-orientador: Prof. Dr. Manoel Evaristo Ferreira

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção de título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

**JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL
Janeiro de 2012**

Guidi, Isabella Mazer
G947u Uso do lodo biológico de indústria de gelatina para adubação de
cana-de-açúcar/Isabella Mazer Guidi. -- Jaboticabal, 2012
ix, 48f.: il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2012
Orientadora: Mara Cristina Pessôa da Cruz
Banca examinadora: Miguel Angelo Mutton, Glauber José de
Castro Gava
Bibliografia

1. Fertilidade do solo. 2. Nitrogênio. 3. Sódio . 4. Resíduo
orgânico. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e
Veterinárias.

CDU 631.452:633.61

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.
e-mail: isabella_guidi@yahoo.com.br

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

Isabella Mazer Guidi, nascida em 19 de setembro de 1984, na cidade de Sertãozinho, São Paulo. Em março de 2003, iniciou o curso de graduação em Engenharia Ambiental pela Faculdade COC, em Ribeirão Preto (SP), concluindo em janeiro de 2008. Em agosto de 2009, iniciou o curso de Mestrado em Agronomia (Ciência do Solo), pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Câmpus de Jaboticabal. Trabalha na LDC-SEV Bioenergia, no Departamento Engenharia e Investimentos, e desde julho de 2011 atua como responsável pela área de investimentos de meio ambiente.

Aos meus pais Marcelo e Conceição
e à minha irmã Marcela,

DEDICO

À Profa. Dra. Mara Cristina Pessôa da Cruz;
Ao amigo Carlos Alberto Kenji Taniguchi;
Ao meu namorado Victor Eduardo Sala,

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo, agradeço a Deus, pela oportunidade da vida, e à minha família, por tudo que me proporcionou para atingir os meus objetivos.

A todos que me ajudaram na condução dos experimentos e nas análises laboratoriais: Ana Flávia Gouveia de Faria, Thiago Martins dos Santos, Thiago de Barros Sylvestre, Juan Gabriel Christoffer Lopes Ruiz, Felipe Batistella Filho, Victor Eduardo Sala, Marcela Mazer Guidi e, em especial, Carlos Alberto Kenji Taniguchi e Fernando Kuhnen. Com a ajuda de vocês tudo se tornou mais fácil.

A todos da Fazenda Boa Esperança, por me cederem o espaço, e por toda ajuda na condução do experimento, em especial ao meu pai, que cuidou diariamente do experimento.

Ao Jorge Henrique Cardoso, pelo apoio, incentivo e ajuda na condução dos experimentos.

À Selma Guimarães Figueiredo, técnica do Laboratório de Fertilidade do Solo, pelo auxílio na realização das análises laboratoriais.

Ao Prof. Dr. Manoel Evaristo Ferreira, pelos ensinamentos e orientação para a realização deste trabalho.

À Profa. Dra. Mara Cristina Pessoa da Cruz, pessoa de dedicação incomparável, por ter acreditado em mim, pela oportunidade, pelas orientações, paciência, conversas, conselhos, pelo carinho com que conduziu todas as situações e exigências, que me ajudaram a crescer.

À LDC-SEV Bioenergia, pela oportunidade, e em especial aos meus amigos: Marcos José Ribeiro Fonseca, Fabiano Luis Fabbris, Wilson Veiga dos Santos, Renato Ramos Cunha, Tassiana Andrade, Bruno Zeviani, Luis Rogério Gomes de Lima, Fábio Luis Moreno Mostaço, Cássio Adriano Costa, Rogério de Souza Annibal, Luiz Roberto Simão e Ricardo Silva, pela amizade.

Aos exemplos de profissionais e grandes incentivadores, Valmir Barbosa e Joel Michigami.

Ao meu avô paterno, Pelegrino Marcos Guidi (*in memoriam*) e à minha avó materna, Maria Schiavinato Mazer, pela participação na minha formação, e à minha avó paterna, Helena Aparecida de Souza Guidi, que além de ter participado de todos os momentos mais importantes da minha vida, concedeu a área onde foi realizado o experimento.

Aos meus tios, tias, primos, em especial, à tia Márcia Guidi Sarti e ao tio Betéia (Carlos Alberto Sarti - *in memoriam*), grandes incentivadores.

Às minhas amigas: Glícia Maria Teixeira, Valéria Saccomani Manfrim, Luciana Vilas Boas Bruno Ferretti, Renata Zorzetto, Maria Claudia Rodrigues, Nerise Pizzo e Livia Palmieri Betinelli, que souberam entender, por muitas vezes, a minha ausência.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, pela oportunidade concedida.

Ao Prof. Dr. José Carlos Barbosa, pelo auxílio nas análises estatísticas.

Ao Prof. Dr. William Natale, Prof. Dr. Miguel Angelo Mutton e Dr. Glauber José de Castro Gava, pelas contribuições no exame geral de qualificação e defesa.

À Canaoeste, pelas análises tecnológicas da cana-de-açúcar, em especial ao Francisco Acorsini e ao Luiz Roberto Ornelas, pela condução das análises.

À Gelita do Brasil, pelo fornecimento do lodo.

A todos que contribuíram para a realização desse trabalho.

Muito obrigada!

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	viii
SUMMARY	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Aspectos ambientais do uso de resíduos orgânicos	3
2.2. Conceitos	4
2.3. Transformações do C e do N em solos tratados com resíduos	5
2.4. Produção, características e potencial de uso agrícola do lodo biológico de gelatina	10
3. MATERIAL E MÉTODOS	15
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
4.1. Atributos químicos do solo após as aplicações do lodo	21
4.2. Macronutrientes e Na nas folhas de cana-de-açúcar	40
4.3. Componentes de produção da cana-de-açúcar	42
5. CONCLUSÕES.....	44
6. REFERÊNCIAS	45

USO DO LODO BIOLÓGICO DE INDÚSTRIA DE GELATINA PARA ADUBAÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR

RESUMO - O uso de resíduos orgânicos da agroindústria de açúcar e etanol na cultura da cana-de-açúcar para fornecimento de nutrientes é comum e, ao longo dos anos, tem se mostrado benéfico. Resíduos de outras indústrias de alimentos também podem ser usados com a mesma finalidade para a cultura, desde que ela esteja nos arredores da unidade geradora. Este é o caso do lodo biológico de indústria de gelatina, resíduo com umidade alta (cerca de 98%), relação C/N baixa (1,9) e alta proporção de $N-NH_4^+$ no N-total. Os efeitos da utilização do lodo no solo, na produção de cana-soca e em características tecnológicas do produto foram avaliados em experimento em campo, instalado em Latossolo Vermelho argiloso, em blocos ao acaso, com cinco repetições. Os tratamentos foram cinco doses do resíduo, equivalentes a 0, 102, 204, 306 e 408 m³ ha⁻¹, que foram calculadas para fornecer 0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 vezes a dose de N recomendada para a cultura (120 kg ha⁻¹), com base na concentração e na taxa de mineralização do N do lodo (em torno de 80%). As doses foram parceladas em duas aplicações, uma após o corte (maio de 2010) e outra no início do período das chuvas (outubro de 2010). A aplicação de doses de lodo biológico de indústria de gelatina em solo de alta fertilidade não resultou em aumento de produção de cana-soca e nem alterou suas características tecnológicas. Dos atributos de solo avaliados, o efeito mais evidente do resíduo foi o aumento transitório do teor de Na trocável do solo, que não resultou em prejuízo para a cultura. Perdas acentuadas de N-mineral, em curto intervalo de tempo, devido às doses aplicadas e à relação C/N do resíduo, não foram detectadas. Há indicativos de que existe no sistema uma combinação de fatores favoráveis à imobilização de N (abundância de restos culturais de parte aérea e raízes, com relação C/N média e alta), e desfavoráveis à nitrificação, uma vez que houve predomínio da forma amoniacal em duas amostragens de solo feitas, uma 36 dias após a segunda aplicação do lodo e outra após a colheita da cultura.

Palavras-chave: resíduo orgânico, nitrogênio, sódio, fertilidade do solo, produção

BIOLOGICAL SLUDGE FROM GELATIN INDUSTRY AS A FERTILIZER FOR SUGARCANE

SUMMARY - The use of organic wastes from sugar and ethanol agroindustry as nutrients sources for sugarcane is usual and over the years has proved to be beneficial. Others food industries wastes can also be used for the same purpose for crops, as long as they are surroundings the generating unit. This is the case of biological sludge from gelatin industry, which presents high moisture, low C/N ratio and high NH_4^+ -N proportion in total-N. The effects of waste application in the sugarcane ratoon yield and technological characteristics were evaluated in a field experiment, carried out in a clayey Oxisol in a randomized block design with five replicates. The treatments were five waste rates, equivalent to 0, 102, 204, 308 and 406 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$, which were calculated to provide 0, 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 times the N recommendation for sugarcane (120 kg ha^{-1}), based on the N concentration and the N mineralization rate of the waste (nearly 80%). Rates were divided in two applications: in May 2010 (after the crop) and in October 2010 (at the beginning of the rainy season). Biological sludge from gelatin industry rates has not increased sugarcane ratoon yield or changed its technological characteristics. Considering the soil attributes evaluated, the most evident waste effect was a temporary increase in exchangeable-Na, which resulted in no prejudice to the crop. Short-term mineral-N losses due to the rates and the waste C/N ratio were not detected. It seems that there is a favorable condition to the N immobilization (abundance of leaf and roots debris with medium and high C/N ratio) and unfavorable to nitrification, since there was ammonium-N form predominance in two soil sampling (36 days after the second sludge application and after the sugarcane harvest).

Keywords: organic waste, nitrogen, sodium, soil fertility, yield

1. INTRODUÇÃO

Do uso agrícola de resíduos orgânicos pode-se ter aumento do teor de matéria orgânica e da CTC do solo, fornecimento de nutrientes às plantas, redução da acidez e melhora em atributos físicos do solo. Para o uso ser viável, o resíduo deve ser produzido na região, porque o transporte é um componente importante do custo de aplicação, e a geração deve ser em grande quantidade.

Há muito tempo vários resíduos vêm sendo estudados e usados na agricultura, dentre eles a vinhaça, resíduo da fabricação de etanol que foi, por muitos anos, considerado um passivo do ponto de vista ambiental, devido aos elevados valores de demanda bioquímica e química de oxigênio. Atualmente, a vinhaça é considerada fonte de potássio importante à cana-de-açúcar, e é associada, com frequência, a aumento de produtividade.

Além de receber os resíduos da própria indústria, a cana-de-açúcar, cultivada em praticamente todas as regiões do Estado de São Paulo, apresenta grande potencial para receber resíduos de outras indústrias de alimentos, dentre eles, os lodos da indústria de gelatina que, como a vinhaça, são rapidamente degradados no solo.

Do processo de fabricação de gelatina a partir de raspas e aparas de couro bovino resultam basicamente dois tipos de resíduos, um designado lodo primário (LPG, não tratado) e outro, lodo biológico (LBG, tratado). Os elementos químicos, nutrientes de plantas ou não, que estão presentes no LPG, também estão no LBG, mas as concentrações variam. A presença e a concentração de N nos dois resíduos são os pontos mais favoráveis para sua utilização. O teor alto de sódio é o aspecto mais limitante, uma vez que micronutrientes e outros elementos que demandam atenção especial, particularmente cromo, ocorrem em concentrações muito pequenas em relação aos limites estabelecidos em legislação, e nem poderia ser diferente, porque a

qualidade da matéria-prima tem que ser compatível com os padrões exigidos pela indústria alimentar e farmacêutica. A Gelita do Brasil é a principal empresa produtora de gelatina do País. Na unidade de Mococa, interior do Estado de São Paulo, gera os dois tipos de resíduos, e tem projeto para aplicação em áreas de produção de cana-de-açúcar.

O objetivo com este trabalho foi avaliar a produtividade da cana-de-açúcar em função da aplicação de lodo biológico de indústria de gelatina e os efeitos do lodo em atributos químicos do solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aspectos ambientais do uso de resíduos orgânicos

Toda atividade humana resulta na produção de resíduos, cuja quantidade está relacionada diretamente com a densidade demográfica, ou seja, a maior produção de resíduos e, conseqüentemente, os maiores problemas, estão em grandes centros urbanos, particularmente naqueles muito industrializados (MARQUES et al., 2007). NOGUEIRA et al. (2007) enfatizam que o desenvolvimento dos grandes centros urbanos tem conduzido ao aumento desordenado na geração de resíduos, favorecendo a poluição ambiental.

Uma alternativa viável para eliminar ou ao menos reduzir o impacto dos resíduos, é a aplicação em solos agrícolas, pois a maioria deles possui carbono orgânico e nutrientes, podendo reduzir os gastos com fertilizantes (SILVA et al., 2001), além de apresentar benefício de ordem social, pela disposição final menos impactante do resíduo no ambiente (SIMONETE et al., 2003).

Com a aplicação de resíduos aos solos agrícolas devolvem-se a eles carbono orgânico, nitrogênio e outros nutrientes que foram exportados para os centros urbanos com os produtos das colheitas (CHIBA et al., 2008). Este uso, de acordo com DYNIA et al. (2006), contempla ainda um importante aspecto da sustentabilidade ambiental que é, além da reciclagem de nutrientes, a economia das reservas nacionais de minérios e de energia elétrica empregados na fabricação de adubos comerciais.

O teor de nutrientes nos resíduos orgânicos é muito variável, mesmo quando se considera um único tipo de resíduo, o que gera incerteza no momento de estabelecer as doses de aplicação. Nos textos publicados por ABREU JÚNIOR et al. (2005) e TEDESCO et al. (2008) tem-se a composição química de vários resíduos orgânicos e, em ROSSETO et al. (2010), a caracterização dos resíduos da indústria de açúcar e etanol. Aumentos nos teores de H_2PO_4^- disponível, K^+ e Ca^{2+} trocáveis são comumente

relatados após a aplicação de resíduos (RODELLA et al., 1990; ALVES et al., 1999; MANTOVANI et al., 2005). Diminuição da acidez do solo e do teor de Al^{3+} trocável também ocorrem com frequência (FERREIRA e CRUZ, 1992; NARAMABUYE e HAYNES, 2007).

Outro benefício da utilização de resíduos em áreas agrícolas é o fornecimento de água. A quantidade e a qualidade da água existente no ambiente vêm diminuindo gradativamente, principalmente por causa da urbanização, da expansão agrícola e industrial e da degradação do meio ambiente, podendo-se considerar a possibilidade de uso de águas de qualidade inferior para outros setores, como a agricultura, por exemplo (FIRME, 2007; NOBILE et al., 2011).

O risco da disposição indiscriminada de resíduos nos solos associa-se principalmente ao transporte de poluentes pela infiltração de líquidos percolados, responsáveis pela contaminação do subsolo e das águas subterrâneas nos locais de disposição (NOBILE et al., 2011). Aliado a isto, a utilização de resíduos em áreas agrícolas por anos consecutivos preocupa, por causa da poluição do ambiente com metais pesados e nitrogênio inorgânico (OLIVEIRA et al., 2001) e, tanto as respostas agronômicas quanto os impactos ambientais, dependem da composição dos resíduos, das quantidades aplicadas e da frequência de aplicação.

2.2. Conceitos

A NBR 10.004 (ABNT, 2004), que classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser adequadamente gerenciados, define resíduos sólidos como sendo *os resíduos no estado sólido e semi-sólido, que resultam da atividade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviço e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamentos de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle da poluição, bem como determinados líquidos cuja particularidade torne inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou corpos d'água, ou exija para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.*

O termo lodo é mais frequentemente aplicado ao resíduo gerado nas estações de tratamento de esgoto, mas pode também ser usado para outros resíduos. De acordo com a norma técnica P4.230 (CETESB, 1999a), *lodo é o material resultante do processo de sedimentação no decantador secundário de sistemas de tratamento biológico ou em lagoas de tratamento, ou de processo de digestão, admitindo, neste caso, que o lodo do decantador primário venha a ser misturado com o lodo do decantador secundário, previamente à sua digestão.*

Na norma P-4002, que estabelece critérios e procedimentos para aplicação de efluentes e lodos fluidos de indústrias cítricas em solos agrícolas (CETESB, 2010), o termo lodo fluido é usado para o *resíduo gerado no sistema de tratamento de águas residuárias da agroindústria cítrica, o qual apresenta umidade igual ou maior do que 85%, é obtido por processos de tratamento físico e biológico, do qual é possível separar, por sedimentação, a fase sólida.*

No processo de fabricação de gelatina são gerados resíduos que podem ser classificados de maneiras diferentes, dependendo do processo industrial. Os resíduos sólidos orgânicos ricos em gordura devem ser tratados antes de serem aplicados aos solos para não causar prejuízos ao ambiente. O tratamento pode ser feito por meio de compostagem, para reduzir seu potencial poluidor e obter produto com boa composição para atuar como corretivo de acidez, pois apresenta pH elevado, e como fertilizante, devido aos altos teores de nitrogênio e cálcio (RIBEIRO, 2007). Os resíduos que não apresentam gordura são oriundos do decantador primário e do decantador secundário, o qual recebe tratamento biológico e é chamado de lodo biológico. O lodo biológico de gelatina (LBG) é uma suspensão que apresenta umidade média superior a 98% (TANIGUCHI, 2010), e que poderia ser classificado como lodo fluido, a exemplo da classificação utilizada na norma P-4002 para efluentes e lodos da indústria cítrica, embora para o LBG ainda não exista normatização.

2.3. Transformações do C e do N em solos tratados com resíduos

A adição de resíduos orgânicos ao solo tem como finalidade principal aumentar o teor de matéria orgânica (MO) do solo e, por consequência, a CTC e a reserva de N

total do solo. Quando um resíduo é adicionado ao solo, passa por uma série de transformações físicas, químicas e biológicas. O tempo de transformação do material orgânico em matéria orgânica, ou a biodegradabilidade, é variável em função da natureza e quantidade das substâncias químicas que o compõe, e de fatores bióticos e abióticos aos quais será submetido (HÄTTENSCHWILER et al., 2005). Da natureza e quantidade das substâncias químicas componentes dos resíduos resulta a relação C/N do material que, portanto, interfere no processo de degradação.

A fase inicial da decomposição dos resíduos orgânicos é caracterizada pela perda rápida de compostos orgânicos prontamente decomponíveis (açúcares, proteínas, amido, celulose), e a fase final é caracterizada pela decomposição gradual de compostos mais resistentes, como a lignina (STEVENSON, 1994). Esta sequência é frequentemente colocada e se aplica aos resíduos de origem vegetal e aos esterco, que constituem a maior parte dos resíduos que são deixados no solo e que darão origem à matéria orgânica. Os resíduos de origem animal seguem, de modo geral, uma via de decomposição mais rápida porque a lignina não é componente dos tecidos, e por causa da relação C/N baixa, 7,7 em porcos, segundo cálculos feitos por CARTER et al. (2007), com base em dados de outros autores.

As ligninas são polímeros aromáticos produzidos pelas plantas, a partir de carboidratos, em um processo chamado lignificação. É resistente à decomposição microbiana e, por isso, tende a acumular no solo. Tem papel importante na formação do húmus do solo e exerce efeitos benéficos importantes em propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (TAN, 2000).

Entre as principais transformações microbianas que ocorrem durante a decomposição dos resíduos orgânicos e a humificação das substâncias orgânicas estão a perda de polissacarídeos e compostos fenólicos, a modificação na estrutura da lignina e o enriquecimento em compostos aromáticos recalcitrantes não lignínicos (ZECH et al., 1997). Durante a decomposição, de modo geral, 50% do C do substrato é incorporado às células microbianas, e os 50% restantes são utilizados para obtenção de energia e perdidos na respiração, na forma de CO₂ (KUZYAKOV et al., 2000).

A decomposição dos resíduos orgânicos normalmente ocorre em duas fases: a primeira de maior intensidade, mas de curta duração (média de oito dias), e a segunda,

de menor velocidade de degradação e mais longa. Na primeira fase ocorre a decomposição da fração orgânica lábil, rapidamente mineralizável e, na segunda, a fração de maior resistência se decompõe mais lentamente (AJWA e TABATABAI, 1994). Resíduos que são facilmente degradáveis também apresentam este comportamento. Para vinhaça foi observada mineralização rápida em duas semanas, seguida de mineralização lenta por até seis meses de incubação. As porcentagens de carbono e de nitrogênio mineralizadas foram de 71% e de 46%, respectivamente, em seis meses. As frações mais lábeis, decompostas na primeira fase, incluíam aminoácidos livres, peptídeos e proteínas, enquanto que nas frações mais resistentes à decomposição estavam compostos aromáticos, especialmente compostos fenólicos provenientes da matéria-prima de origem ou de moléculas complexas (PARNAUDEAU et al., 2008). A fração orgânica da vinhaça, de acordo com TEDESCO et al. (2008), é coloidal em boa parte, e é facilmente biodegradada no solo. Em comparação ao esterco bovino, que perdeu 19% do C orgânico adicionado durante incubação a 30°C por 38 dias, a vinhaça perdeu 65% (REIS e RODELLA, 2002). A decomposição rápida diminui a expectativa de aumento do teor de MO do solo, embora CANELLAS et al. (2003) tenham relatado aumento de 15,71 para 18,33 g kg⁻¹ de C orgânico, após 35 anos de aplicação de vinhaça (cerca de 120 m³ ha⁻¹ por ano) em área com colheita de cana após queima.

O dejetivo líquido de suíno também degrada rapidamente no solo. DENDOOVEN et al. (1998) relataram perda de 62% do C orgânico adicionado com o dejetivo em 28 dias de incubação. No entanto, a aplicação anual de 60 e 120 m³ ha⁻¹ de dejetivo líquido de suíno por 14 anos resultou em aumento de 18% e de 41%, respectivamente, no C orgânico da camada de 0 a 20 cm do solo (HOUNTIN et al., 1997).

Uma aplicação isolada de 500 m³ ha⁻¹ de lodo biológico de indústria de gelatina (LBG) não alterou o teor de MO de solos de texturas arenosa, média e argilosa (GUIMARÃES, 2009). Com a aplicação dos 500 m³ ha⁻¹ foram adicionados cerca de 8,3 t ha⁻¹ (4,5 g dm⁻³) de matéria seca e 0,5 g dm⁻³ de C orgânico. A pequena quantidade de carbono adicionada, aliada à baixa relação C/N (1,9) do LBG, resultou em mineralização rápida do resíduo, sem alteração mensurável na reserva de C orgânico preexistente nos solos. O lodo utilizado resultou em efeito *priming* no solo, ou

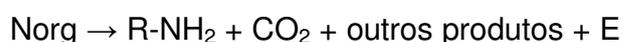
seja, em ensaio de incubação foi perdido mais carbono do que a quantidade aplicada com o resíduo, indicando consumo microbiano das reservas de C orgânico do solo.

Deste modo, aplicações isoladas de resíduos orgânicos normalmente não resultam em aumento no teor de MO. Para que ele aumente é preciso que sejam feitas aplicações sucessivas do material orgânico e, sendo assim, mesmo resíduos facilmente e rapidamente degradáveis, como o LBG, podem resultar em aumento.

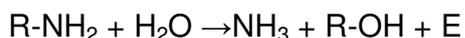
À medida que o carbono é incorporado às células microbianas, o nitrogênio vai sendo mineralizado, condição em que passa para as formas assimiláveis pelas plantas. Quanto mais baixa for a relação C/N do resíduo, maior a velocidade de decomposição e de transformação do N-orgânico presente no resíduo em N-mineral. Valores de relação C/N maiores que 30 são altos e, menores que 20, baixos; valores altos são associados com imobilização e, baixos, com mineralização de nitrogênio. No intervalo entre 30 e 20, as taxas de mineralização e imobilização são consideradas equivalentes (STEVENSON, 1986). A relação C/N do LBG, em média 2,2 (TANIGUCHI, 2010), indica predomínio de mineralização de N desde a fase inicial de decomposição, o que foi comprovado nos experimentos em laboratório realizados por GUIMARÃES (2009) e TANIGUCHI (2010).

Apesar da expectativa de predomínio de imobilização ou mineralização em função da relação C/N alta ou baixa do resíduo, aplicação de grandes quantidades de resíduos ricos em C orgânico solúvel pode resultar em imobilização na fase inicial do processo de decomposição, por períodos curtos, não superiores a uma ou duas semanas. Com aplicação de $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de dejetos de suínos houve imobilização nos primeiros sete dias de incubação, constatada pela diminuição no teor de N-inorgânico do solo em relação ao tempo zero. Em seguida houve aumento dos teores de N-inorgânico no solo até os 129 dias de incubação, indicando mineralização do N (PLAZA et al., 2005).

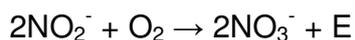
O processo de mineralização do N ocorre em três etapas, que estão detalhadas a seguir, com base nas informações de HAVLIN et al. (2005). A primeira é a aminização, na qual os microrganismos heterótrofos usam carbono contido no material orgânico como fonte de energia, e pode ser representada do seguinte modo:



A segunda etapa é a amonificação, também realizada por organismos heterótrofos. A partir desta etapa o N já está na forma mineral e é acessível às raízes das plantas, pode ser absorvido ou adsorvido aos coloides do solo.



A forma N-NH_4^+ pode ser volatilizada (porque a segunda reação é reversível, em meio alcalino) ou ainda, em ambiente aeróbio, transformada em nitrato, na etapa chamada nitrificação. Essa etapa é realizada por microrganismos autotróficos que usam como fonte de energia o N mineral.



Durante as reações entre o amônio e o oxigênio através da ação das bactérias *Nitrosomonas*, ocorre a liberação de H^+ , íon responsável pela acidificação do solo.

Após a mineralização, o nitrogênio na forma de amônio pode ser retido aos coloides do solo, mas o nitrato poderá ser lixiviado para fora da zona radicular, caso não seja absorvido pelas plantas e a condição hídrica permita, porque a capacidade do solo em retê-lo é baixa. Além disso, a lixiviação é um problema do ponto de vista da fertilidade do solo, pois acarreta em perdas de nutrientes através da percolação da água, da zona das raízes para as áreas mais profundas do solo, tornando-os indisponíveis para as plantas.

Por outro lado, em condições redutoras, pode ocorrer a desnitrificação, processo pelo qual o nitrogênio na forma de nitrato é transformado em nitrogênio gasoso.

Quando se faz uso do LBG, cerca de 24% do N-total do resíduo já está na forma amoniacal (GUIMARÃES, 2009; TANIGUCHI, 2010). Considerando que o resíduo é alcalino, dependendo das condições em que seja aplicado, há risco de perda de N por volatilização da NH_3 . A aplicação sobre cobertura de palha favorece as perdas, a exemplo do que ocorre quando se faz uso da ureia como fertilizante, ou seja, a hidrólise enzimática da ureia ocorre devido a água do solo que evapora e condensa na superfície da palha, há liberação de NH_4^+ em meio alcalino e geração de NH_3 , a qual é perdida

com a evaporação da água (FRENEY et al., 1992). No caso do LBG, a forma amoniacal já existe e está concentrada na fração líquida da suspensão. Se aplicado em solo sem cobertura, a incorporação do íon NH_4^+ pela própria água diminui o potencial de perda. Se aplicado sobre palha, o risco de perda é maior porque a parte líquida que fica retida no material e não chega ao solo, evapora com facilidade. Em qualquer das circunstâncias, a aplicação de água após a aplicação do LBG pode favorecer o aproveitamento do N do resíduo.

Se no solo as condições forem desfavoráveis para imobilização e volatilização de NH_3 , a via principal de transformação do N-NH_4^+ é a nitrificação. Como a relação C/N do LBG é baixa, espera-se produção de grande quantidade de N-NO_3^- em pequeno intervalo de tempo. No trabalho de GUIMARÃES (2009), o teor de N-NO_3^- com aplicação de $500 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de LBG aumentou de cerca de 10 mg kg^{-1} para aproximadamente 90 mg kg^{-1} , nos primeiros 14 dias de incubação em condições controladas. Quando grande quantidade de NO_3^- é produzida em intervalo de tempo muito pequeno, há maior risco de perda do íon por lixiviação. A lixiviação do N-NO_3^- em solos adubados com resíduos orgânicos depende da natureza do material, da dose, da época de aplicação, da quantidade de água aplicada, do tipo de solo e, no caso de solos cultivados, da absorção de N pela cultura (BURGOS et al., 2006). De acordo com os autores, a lixiviação de N-NO_3^- é maior quando são aplicados resíduos orgânicos pouco estabilizados e ricos em N, como os dejetos de suínos e outros esterços.

2.4. Produção, características e potencial de uso agrícola do lodo biológico de gelatina

Segundo dados da Gelita do Brasil, na produção da gelatina para os mais diversos fins são utilizadas, como matérias-primas, pele suína, pele bovina e ossos. Cada matéria-prima recebe uma forma de pré-tratamento para que as ligações de colágeno sejam rompidas. Assim, a pele suína passa por pré-tratamento ácido por curto período de tempo, já que os suínos são abatidos com menos idade e, portanto, as ligações são mais fracas; a pele de bovinos e os ossos recebem pré-tratamento alcalino por até três meses. Após a etapa de pré-tratamento é feita a extração da gelatina através de lavagens com água quente. A gelatina é então purificada para eliminação de

resíduos de gordura e fibras de colágeno, e concentrada em evaporadores a vácuo. Quando o grau de concentração da gelatina atinge níveis adequados, ela é submetida a esterilização, secagem e aos acabamentos finais, de modo que seja obtido o padrão de qualidade necessário. Para as transformações citadas é exigido, de acordo com cada etapa, o fornecimento de energia, na forma de aquecimento, resfriamento e insumos, dentre eles água e produtos químicos. Em todas as etapas a quantidade de resíduos sólidos e líquidos gerada é grande, os quais seguem para o tratamento e a disposição. O efluente passa por gradeamentos e peneiramentos para remoção das partes sólidas, e segue para um tanque de equalização. Neste tanque é feita a correção do pH para que na próxima etapa, no flotador, através da injeção de polímeros catiônicos, seja feita a remoção de mais uma parte do material sólido presente no efluente. O sobrenadante resultante deste processo é o lodo primário (LPG). O decantado segue para tratamento anaeróbio, no qual aproximadamente 70% da matéria orgânica é removida. Em seguida, segue para o tratamento aeróbio, e então é gerado o lodo biológico de indústria de gelatina (LBG).

Na composição do LBG estão nutrientes de plantas em concentrações de interesse agrônômico (GUIMARÃES, 2009; TANIGUCHI, 2010). Os nutrientes que estão em maior concentração são o Ca e o N e, entre os elementos químicos não nutrientes, o Na é o mais abundante. Da caracterização de várias amostras de LBG feita por GUIMARÃES (2009) e TANIGUCHI (2010) têm-se as seguintes médias, em base seca: C orgânico, 147 g kg⁻¹; N-total, 70 g kg⁻¹; N-NH₄⁺, 17 g kg⁻¹; N-NO₃⁻, 0,33 g kg⁻¹; P, 3,7 g kg⁻¹; K, 1,9 g kg⁻¹; Ca, 85 g kg⁻¹; Mg, 2,0 g kg⁻¹; Na, 45 g kg⁻¹; C/N, 2,1. O valor de pH, a condutividade elétrica e a umidade foram, respectivamente, 8,2, 4,46 mS cm⁻¹ e 98,6%.

A Gelita é o maior produtor mundial de gelatina, responsável pela produção de 85 mil toneladas por ano, das quais, 20 mil no Brasil, o que representa 80% da produção brasileira (Agência de Notícias Brasil Árabe, 2009, citada por GUIMARÃES, 2009). No Estado de São Paulo, a principal unidade produtora de gelatina da Gelita está na cidade de Mococa, onde são processadas 100 t de matéria-prima por dia, o que resulta em 14 t de gelatina e 80 m³ de LPG e 600 m³ de LBG (TANIGUCHI, 2010).

Considerando a produção diária de LBG e o seu teor de N-total, tem-se cerca de 590 kg de N diariamente disponíveis para reuso.

Melhora dos atributos químicos dos solos com a aplicação dos lodos de indústria de gelatina foi constatada em experimentos conduzidos em condições controladas (ARAÚJO, 2006; GUIMARÃES, 2009). De acordo com resultados obtidos por ARAÚJO (2006), que avaliou doses equivalentes a 0; 90; 180; 270 e 360 t ha⁻¹ de LPG, não foram observadas alterações no teor de MO, e o valor de pH em CaCl₂ e os teores de P, Ca, Mg e Na aumentaram com a dose. A aplicação de até 500 m³ ha⁻¹ de LBG resultou em aumento nos teores de N mineral e P disponível, diminuição da acidez do solo, aumento nos teores de Ca, Mg e Na e, também, aumento na CTC efetiva (GUIMARÃES, 2009). O LBG, assim como o LPG, não resultou em alteração no teor de MO, e também, em ambos os casos, o teor de Na não ultrapassou valores estabelecidos em legislação existente para lodo de curtume (norma P4.233, CETESB, 1999b).

SILVEIRA et al. (2005) compararam os tratamentos testemunha, fertilizante NPK + calcário, 500 e 1.000 m³ ha⁻¹ de lodo de indústria de gelatina tratado e 500 m³ ha⁻¹ de lodo não tratado, e verificaram que a aplicação da maior dose de lodo tratado (1.000 m³ ha⁻¹) resultou em produção de matéria seca e teores de N, P e Ca na parte aérea de aveia semelhantes ao do tratamento com fertilizante mineral e calcário.

TANIGUCHI (2010) obteve aumento da produção de matéria seca de milho em experimentos em vasos e em colunas, com aplicação de até 500 m³ ha⁻¹ de LBG. O índice de eficiência agrônômica do LBG foi de 107%, indicando que, para uma mesma dose de N aplicada, o LBG foi 7% mais eficiente do que o NH₄NO₃ no fornecimento de N para as plantas de milho e, como consequência, na produção de matéria seca.

Em campo, o lodo de indústria de gelatina foi avaliado após compostagem com torta de filtro. Com a aplicação de 25 t ha⁻¹ do composto no primeiro ano, a produtividade de trigo foi semelhante à do tratamento-testemunha e à do tratamento com adubo sintético. No segundo ano, com aplicação de 75 t ha⁻¹ do composto, a produção de trigo foi maior do que a do tratamento-testemunha e semelhante à do tratamento com adubo sintético (SILVA et al., 2008).

A definição da dose a ser aplicada é um dos aspectos mais importantes na utilização dos resíduos orgânicos. Para o Estado de São Paulo, a CETESB (1999a), por meio da Norma Técnica P4.230, estabeleceu procedimentos para a aplicação de lodo de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas. Esta norma reflete a preocupação com a questão da lixiviação do ânion nitrato, que está entre as variáveis mais utilizadas na definição da dose a ser aplicada, ou seja, a quantidade de nitrogênio do efluente que está disponível para a planta (DYNIA et al., 2006).

Com relação aos lodos de origem industrial, a CETESB (1999a), segundo a Norma P 4.230, exige a caracterização do lodo quanto à mineralização do carbono e do nitrogênio, à elevação do pH do solo e, ainda, no caso de indústrias que manuseiam substâncias consideradas tóxicas, é necessária a caracterização do lodo quanto à toxicidade. Para a determinação da quantidade de lodo a ser aplicada (taxa de aplicação), a Cetesb, na mesma norma, determina que deverá ser adotado o menor valor calculado com base em um dos seguintes critérios:

a) Nitrogênio disponível, obtido por meio da fórmula:

$$t \text{ ha}^{-1} \text{ de lodo} = N \text{ recomendado} / N \text{ disponível no lodo, em que:}$$

N recomendado: quantidade de N recomendada para a cultura, em kg ha^{-1} ;

N disponível no lodo: quantidade de N, em kg t^{-1} de lodo;

b) Teores de metais no lodo, em que se deve respeitar a quantidade máxima de metais a ser aplicada no solo, em kg ha^{-1} por ano, estabelecida na própria norma;

c) Capacidade de elevação do pH do solo pelo lodo, de modo a garantir que o pH em CaCl_2 final da mistura solo-lodo não ultrapasse 7,0;

d) Outros elementos presentes no lodo, em que é considerado o limite de acumulação de metais no solo, em kg ha^{-1} , em caso de reaplicação, conforme valores estabelecidos na própria norma.

No caso do LBG, o critério do nitrogênio disponível é o mais adequado e, para atender à Norma P4.230, TANIGUCHI (2010) determinou a taxa de mineralização do nitrogênio do lodo biológico em solo de textura média empregando 0; 100; 200; 300; 400 e 500 $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Os teores máximos de N-NH_4^+ no solo foram determinados aos sete dias de incubação, aos 28 dias houve diminuição e, a partir daí, houve estabilização até 126 dias. Os teores de N-NO_3^- permaneceram baixos até o 7º dia; o maior aumento

ocorreu entre 14 e 28 dias mas, até 126 dias, foi observada tendência de aumento. A fração de mineralização, média das cinco doses, foi de 84% e, devido à relação C/N baixa, o tempo necessário para que 50% do nitrogênio potencialmente mineralizável do LBG fosse mineralizado foi de oito dias. Resultados semelhantes já haviam sido obtidos por GUIMARÃES (2009) em solo argiloso.

A aplicação de LBG, na taxa de aplicação calculada conforme a norma Cetesb P4.230, aumentou a produtividade de grãos de milho safrinha em relação aos tratamentos testemunha e adubação mineral em 61 e 28%, respectivamente (TANIGUCHI, 2010).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Foi realizado experimento a campo, no ano agrícola 2010/2011, na Fazenda Boa Esperança, município de Barrinha (SP), com a cultura de cana-de-açúcar, variedade RB 85-5453, 5ª soqueira. As coordenadas geográficas do local são: 21°12'58"S e 48°04'14"W. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho (ROSSI e OLIVEIRA, 2000) de textura argilosa e o clima, conforme Köppen, é do tipo Aw (CEPAGRI, 2011). Os dados pluviométricos da área, do período de condução do experimento, estão na Figura 1.

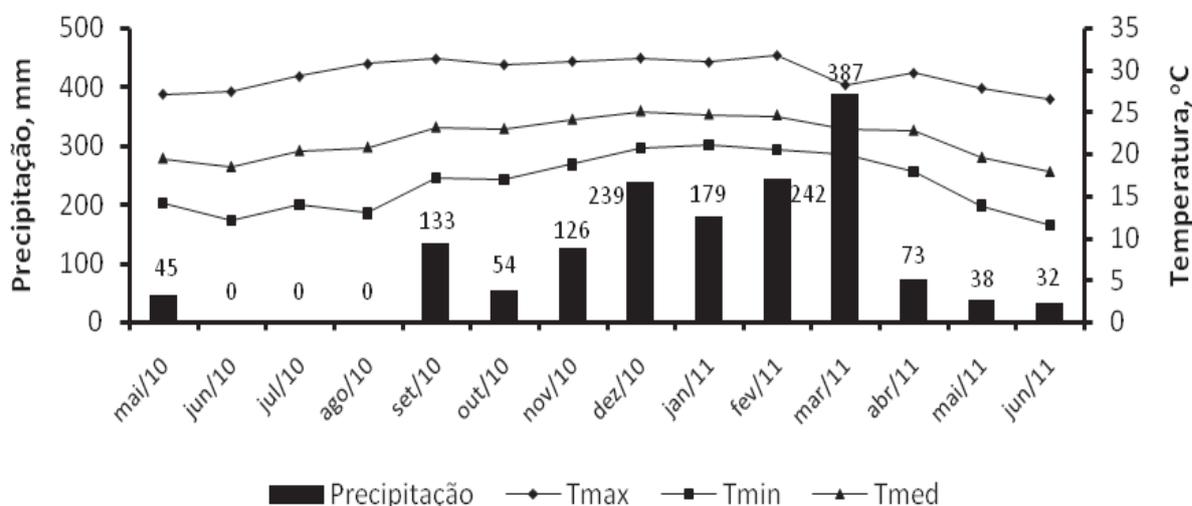


Figura 1. Precipitação pluvial mensal acumulada no local e durante a condução do experimento. (Dados de precipitação medidos no local e dados de temperatura da Estação Agroclimatológica da FCAV-Unesp, Jaboticabal, SP).

O lodo, objeto de estudo neste experimento, é uma suspensão de cor castanha, e foi fornecido pela Gelita do Brasil, unidade de Mococa (SP).

As amostragens do lodo para caracterização e definição da taxa de aplicação foram feitas em 6, 7, 8 e 9 de abril de 2010. Assim que as amostras chegavam ao

Laboratório de Fertilidade do Solo da Unesp – FCAV, em Jaboticabal (SP), eram feitas as determinações da condutividade elétrica (CE), da umidade e do valor de pH. Para determinação da umidade foi transferida quantidade conhecida de lodo para cápsula de porcelana e o material foi seco em banho maria, a $\pm 65^{\circ}\text{C}$, até peso constante. Nas amostras foram também determinados os teores de N-NO_3^- , N-NH_4^+ e N-total. Para determinação do N-total foi empregado o método descrito em TEDESCO et al. (1995), empregando 5 ml do lodo. Na determinação do N-inorgânico foi feita destilação direta da suspensão, adicionando MgO e liga de Devarda para determinação de N-NH_4^+ e de N-NO_3^- , respectivamente, recebendo o destilado em solução de H_3BO_3 mais indicadores. Em seguida, foi feita a titulação dos destilados com solução de H_2SO_4 $0,02 \text{ mol L}^{-1}$ (CANTARELLA e TRIVELIN, 2001). O lodo, com 1,1% de MS, valor de pH 8,1 e $4,6 \text{ mS cm}^{-1}$ de CE, apresentou, respectivamente, os seguintes teores de N-total, NH_4^+ e NO_3^- : 67,9; 15,9 e $0,1 \text{ g kg}^{-1}$ (médias das quatro amostras coletadas).

Para definição da taxa de aplicação do lodo de indústria de gelatina em solo agrícola foram seguidos os critérios da norma P4.230 (CETESB, 1999a), que normatiza a aplicação de lodos de sistemas de tratamentos biológicos em áreas agrícolas.

$$\text{Taxa de aplicação} = \frac{N \text{ recomendado (kg ha}^{-1}\text{)}}{N \text{ disponível no lodo (kg t}^{-1}\text{)}}, \text{ em que:}$$

N recomendado: quantidade de N recomendada para a cultura, de acordo com SPIRONELLO et al. (1996), ou seja, 120 kg ha^{-1} de N, com expectativa de produção de colmos $>100 \text{ t ha}^{-1}$;

$$N \text{ disponível} = \left(\frac{FM}{100} \right) \times (N \text{ total} - \text{NH}_4^+) + 0,5 \times (\text{NH}_4^+) + \text{NO}_3^-$$

A fração de mineralização do N (FM) utilizada no cálculo do N disponível no lodo foi de 87,4%, obtida por GUIMARÃES (2009) em experimento com o mesmo lodo, aplicado em Argissolo Vermelho de textura argilosa, considerando a FM média das doses 100 e $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de LBG. O N-total, o N-NH_4^+ e o N-NO_3^- do lodo foram os teores médios obtidos nas amostragens feitas entre 6 e 9 de abril de 2010. Deste modo, a taxa de aplicação (TA) calculada foi de $2,24 \text{ t ha}^{-1}$ em base seca e, em se tratando de lodo com 98,9% de umidade, foi de $204.000 \text{ L ha}^{-1}$ ou $204 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

A área onde foi instalado o experimento é cultivada com cana-de-açúcar há aproximadamente 40 anos, está em plantio direto há aproximadamente 12 anos e a queima da palha é feita somente após o primeiro corte. O plantio da cana na área do experimento foi feito em 2006 e, em maio de 2010, foi feito o 4º corte, quando foi feita a instalação do experimento.

Em 20 de maio de 2010 foi feita a amostragem de solo para caracterização da área, nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, na linha e na entrelinha da cultura. Os atributos químicos do solo (RAIJ et al., 2001) e a granulometria (CAMARGO et al., 2009), estão na Tabela 1.

Tabela 1. Atributos químicos e granulometria do solo.

Amostra	Prof. cm	MO g/dm ³	pH CaCl ₂	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	-----mmol _c /dm ³ -----			SB	CTC	V %
							H+Al	Al ³⁺				
Linha	0-20	23	4,7	3,2	14	7	42	2	24	66	37	
Linha	20-40	16	4,8	1,9	10	5	34	1	17	51	33	
Entrelinha	0-20	20	4,8	3,2	13	7	34	1	23	57	41	
Entrelinha	20-40	15	4,9	1,9	11	6	31	1	19	50	38	
		P resina	S-SO ₄ ²⁻	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Argila	Silte	Areia	
		-----mg/dm ³ -----										
Linha	0-20	8	17	0,13	3,5	23	12,7	0,4	570	50	380	
Linha	20-40	5	49	0,13	3,1	19	4,8	0,2				
Entrelinha	0-20	6	27	0,08	3,4	21	10,0	0,3				
Entrelinha	20-40	9	56	0,08	2,8	17	4,6	0,2				

A aplicação de calcário (PRNT = 90%) foi feita para elevar o índice de saturação por bases a 60% (SPIRONELLO et al., 1996), em 28 de maio de 2010, em área total, com caminhão aplicador de calcário. Não foi feita incorporação.

Sete dias após a calagem foi feita adubação com P e K, para produtividade >100 t ha⁻¹ de colmos, empregando 90 kg ha⁻¹ de K₂O e 30 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (SPIRONELLO et al., 1996), empregando cloreto de potássio e superfosfato simples, respectivamente.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com cinco tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos corresponderam à aplicação de 0; 102; 204; 306 e 408 m³ ha⁻¹ de lodo biológico de indústria de gelatina (LBG), ou seja, 0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 vezes a TA. As parcelas eram constituídas de 5 linhas de cana-de-açúcar, espaçadas entre si de 1,5 m e com 5 m de comprimento. Dentro de um mesmo bloco,

as parcelas estavam separadas umas das outras por 1 m e, entre os blocos, por uma linha de plantas. A área total da parcela era 37,5 m² e, a área útil, 13,5 m² (três linhas centrais, com bordadura de 1 m nos extremos).

Em 12 de junho de 2010, um mês após a calagem, foi feita a 1^a. aplicação do LBG, com metade das doses calculadas. Em 30 de outubro do mesmo ano foi feita a aplicação da segunda metade das doses. O parcelamento foi feito para evitar escorrimento para as áreas adjacentes à parcela e/ou para outras parcelas, e porque na época de inverno o crescimento vegetativo é reduzido e a absorção de nutrientes pela planta é relativamente menor. A distribuição do LBG foi feita com regadores, com capacidade de 10L. A fim de obter umidade semelhante em todas as parcelas, os tratamentos testemunha, 0,5 TA; 1,0 TA e 1,5 TA, receberam 408; 306; 204 e 102 m³ ha⁻¹ de água, respectivamente.

Em cada data de aplicação, o lodo foi amostrado para as determinações de umidade, pH, CE, C-orgânico, N-NO₃⁻, N-NH₄⁺, N-total, P, K, Ca, Mg, S e Na.

Para determinação da umidade, N-total e N-inorgânico foram utilizados os mesmos procedimentos descritos para as amostras coletadas entre 6 e 9 de abril de 2010. Na determinação de C-orgânico foram utilizados 50 mL do lodo, os quais foram submetidos à oxidação com solução de K₂Cr₂O₇, seguida de titulação com solução de (NH₄)₂Fe(SO₄)₂.6H₂O, conforme método descrito em BRASIL (2007). A determinação de P, K, Ca, Mg, S e Na foi feita por digestão nítrico-perclórica empregando subamostras de 10 mL de lodo. No extrato, a quantificação de Ca e de Mg foi feita por espectrofotometria de absorção atômica, K e Na, por fotometria de chama, P por colorimetria e S por turbidimetria. Os resultados estão na Tabela 2.

A primeira amostragem de solo após a aplicação do lodo ocorreu de 6 a 9 de dezembro de 2010, entre 36 a 39 dias após a segunda aplicação do lodo. A amostra foi obtida de 20 subamostras por parcela, coletadas com sonda, dentro da área útil, nas linhas da cultura, e nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm. Nas amostras foram feitas as determinações de rotina, mais N-NH₄⁺, N-NO₃⁻ e Na⁺ trocável (RAIJ et al., 2001).

Em 27 de fevereiro de 2011 foi coletada a folha +1 de 30 plantas por parcela, das quais foram separados os 20 cm centrais, sem a nervura central (RAIJ e

CANTARELLA, 1996). As folhas foram levadas ao Laboratório de Fertilidade do Solo da Unesp – FCAV, onde foram lavadas, enxugadas com papel absorvente, colocadas em estufa de circulação forçada de ar a cerca de 65°C até peso constante e, em seguida, moídas e submetidas à digestão nítrico-perclórica para determinação das concentrações de sódio e potássio por fotometria de chama, cálcio e magnésio por espectrofotometria de absorção atômica e fósforo por colorimetria. Para a determinação da concentração de nitrogênio as amostras foram submetidas à digestão sulfúrica e a quantificação foi feita pelo método da destilação. Em todos os casos foram seguidos, em linhas gerais, os métodos descritos em CARMO et al. (2000).

Tabela 2. Caracterização química do lodo de indústria de gelatina da primeira e da segunda aplicação (nutrientes, C orgânico e Na expressos em base seca).

Data aplicação	MS %	P	Ca	Mg	K	Na	S	N	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	C org	C/N	pH	CE mS cm ⁻¹	
			----- g kg ⁻¹ -----												
12/06/10	1,33	4,1	81,8	1,5	2	54	14	64,3	14,3	0,4	149	2	8,0	4,2	
30/10/10	0,63	3,7	69,6	1,9	2	98	21	39,3	4,2	0,2	143	4	8,1	4,1	

Em 02 de junho de 2011 foi feita a colheita dos colmos para análise tecnológica: coletaram-se os colmos de um metro de linha, na linha do meio da parcela, e procedeu-se a despalha. A despalha consistiu em tirar as folhas secas e a ponta. Essas amostras foram identificadas, pesadas no campo e enviadas ao Laboratório de Sacarose da Canaoeste, em Sertãozinho (SP), onde, no dia seguinte (03-06-2011), foram realizadas as análises tecnológicas, de acordo com os procedimentos descritos em CONSECAN (2006). Foram determinados °Brix e pol e, por cálculo, foram obtidos os valores de pol % cana, açúcares redutores (AR) e açúcares redutores totais (ATR).

Em 04 de junho de 2011 foi feita a colheita dos colmos de cana-de-açúcar da área útil das parcelas, eliminando as folhas e as pontas. O peso de colmos de cada parcela foi o resultado da soma do peso da amostra colhida no dia 02 de junho para análises tecnológicas mais o peso dos colmos colhidos no dia 04 de junho.

Em 24 e 25 de junho de 2011, portanto após a colheita dos colmos, foi realizada a segunda amostragem de solo, seguindo os mesmos procedimentos descritos para a

primeira amostragem. Esta coleta ocorreu 237-238 dias após a segunda aplicação de lodo. Nas amostras foram feitas as determinações de rotina, mais N-NH_4^+ , N-NO_3^- e Na^+ trocável (RAIJ et al., 2001).

Os efeitos das doses do lodo na produção de colmos de cana-de-açúcar e nas variáveis Brix, Pol % cana, AR e ART foram avaliados por meio de análise de variância para experimento em blocos ao acaso, seguida de regressão polinomial. Os atributos químicos do solo (análise de rotina, N-NH_4^+ , N-NO_3^- e Na^+) foram analisados em delineamento em blocos ao acaso com parcelas subdivididas, em que os tratamentos principais foram as doses do lodo (zero; 0,5 TA; 1,0 TA; 1,5 TA e 2,0 TA) e, os secundários, as profundidades (0-5; 5-10; 10-20; 20-40 e 40-60 cm), em cada uma das amostragens. Foi utilizado o programa AgroEstat – Sistema para Análises Estatísticas de Ensaio Agrônomicos, Versão 1.1.0.626 (BARBOSA e MALDONADO Jr., 2011).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Atributos químicos do solo após as aplicações do lodo

De modo geral, os teores de Ca, Mg, K e P no solo não variaram em função das doses de LBG, tanto na 1^a. amostragem, feita 38 dias após a segunda aplicação do lodo, quanto na 2^a. amostragem, aos 238 dias da segunda aplicação (Tabelas 3 a 6). Ajustes quadráticos, com diminuição seguida de aumento, foram obtidos para os teores de Ca, Mg e P na camada de 0-5 cm, na segunda amostragem de solo. Para os quatro nutrientes e, particularmente para o P, os coeficientes de variação foram altos, devido ao local de coleta das amostras, ou seja, nas linhas de plantas, onde foram aplicados manualmente o adubo fosfatado, o adubo potássico e o LBG. A aplicação do calcário foi mecânica, em área total, mas mesmo assim, sujeita a irregularidades na distribuição. Deste modo, os efeitos apontados, inclusive porque não seguem o padrão esperado, devem ser decorrentes de desuniformidades na área. Apesar de terem sido coletadas amostras em vinte pontos por parcela, foi usada sonda com cerca de 2,5 cm de diâmetro interno e, a coleta pontual, neste caso, não é a mais indicada. O método de amostragem que deveria ter sido usado é o empregado em áreas de plantio direto (BERNARDI, 2003), mas ele não seria de aplicação viável para a cultura em andamento e em parcelas com as dimensões utilizadas no experimento. O problema da desuniformidade em áreas de plantio direto foi avaliado por SILVEIRA et al. (2000), os quais determinaram que, na camada de 0 a 5 cm, para uma variação de 5% em torno da média, são necessárias 58 subamostras por amostra para Ca, 75 para Mg, 640 para P e 131 para K. Para amostragem de 5 a 20 cm, devido à profundidade em que é feita a adubação de plantio em culturas anuais, o número de subamostras aumenta para 134 para Ca, 225 para Mg, 2.998 para P e 412 para K. No caso específico do P, para

trabalhar com erro de 20% em torno da média, são necessárias 40 subamostras por amostra para a camada de 0 a 5 cm e 120 para a camada de 5 a 20 cm.

Para os quatro nutrientes houve diminuição do teor em função da profundidade, e o efeito foi observado nas duas amostragens (Tabelas 3 a 6).

Tabela 3. Teores de Ca no solo em amostras coletadas 38 dias (1ª. amostragem) e 238 dias (2ª. amostragem) após a segunda aplicação do lodo biológico de gelatina.

Prof cm	Lodo (m ³ ha ⁻¹)					Equações de regressão	F	R ²	
	0	102	204	306	408				Média ¹
Ca, mg dm ⁻³									
----- 1a. Amostragem -----									
0 - 5	36	36	42	35	39	38 a	Y = 37,68	-	-
5 - 10	18	25	20	18	20	20 b	Y = 20,24	-	-
10 - 20	15	13	12	12	13	13 c	Y = 13,20	-	-
20 - 40	14	11	10	11	13	12 c	Y = 11,64	-	-
40 - 60	10	10	8	10	10	10 c	Y = 9,68	-	-
Média	19	19	18	17	19				
----- 2a. Amostragem -----									
0 - 5	41	31	30	34	38	35 a	Y=39,79-0,092X+0,0002X ²	18,05**	0,9049
5 - 10	23	17	16	18	18	18 b	Y = 18,40	-	-
10 - 20	14	11	11	12	13	12 c	Y = 12,28	-	-
20 - 40	11	9	9	9	10	10 cd	Y = 9,76	-	-
40 - 60	10	9	8	10	8	9 d	Y = 8,84	-	-
Média	20	15	15	17	17				
----- Teste F -----									
						1ª. amostragem	2ª. amostragem		
Lodo						0,36 NS	2,43 NS		
Prof						96,52**	181,28**		
Lodo x Prof						0,78 NS	0,97 NS		
CV%						39,09	35,82		

¹ Médias seguidas por letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. NS, *, **: não significativo e significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

As quantidades de Ca, Mg, K e P aplicadas com o lodo chegaram a cerca de 310 kg ha⁻¹, 7 kg ha⁻¹, 8 kg ha⁻¹ e 16 kg ha⁻¹, respectivamente. GUIMARÃES (2009) incubou, por 120 dias, solos de texturas arenosa, média e argilosa com LBG em condições de laboratório, e obteve aumentos lineares nos teores dos quatro nutrientes, maiores no caso do Ca, devido à composição do lodo. As diferenças de resposta entre

os experimentos com o mesmo resíduo podem estar relacionadas aos tipos de solo utilizados nos experimentos, aliado às condições em que eles foram conduzidos.

Tabela 4. Teores de Mg no solo em amostras coletadas 38 dias (1ª. amostragem) e 238 dias (2ª. amostragem) após a segunda aplicação do lodo biológico de gelatina.

Prof cm	Lodo (m ³ ha ⁻¹)					Média ¹	Equações de regressão	F	R ²	
	0	102	204	306	408					
Mg, mg dm ⁻³										
----- 1a. Amostragem -----										
0 - 5	13	13	16	12	13	13 a	Y = 13,32	-	-	
5 - 10	8	11	9	8	9	9 b	Y = 8,96	-	-	
10 - 20	7	7	6	6	6	6 c	Y = 6,44	-	-	
20 - 40	6	6	5	5	6	6 cd	Y = 5,68	-	-	
40 - 60	5	5	4	4	5	5 d	Y = 4,60	-	-	
Média	8	8	8	7	8					
----- 2a. Amostragem -----										
0 - 5	15	13	15	14	17	15 a	Y=14,56-0,014X+0,00005X ²	4,50*	0,7228	
5 - 10	10	8	9	8	9	9 b	Y = 9,12	-	-	
10 - 20	7	6	6	6	6	6 c	Y = 6,12	-	-	
20 - 40	6	5	5	4	5	5 cd	Y = 4,96	-	-	
40 - 60	5	4	5	4	4	4 d	Y = 4,44	-	-	
Média	9	7	8	7	8					
Teste F										
1ª. amostragem						2ª. amostragem				
Lodo						0,45 NS				1,01 NS
Prof						59,45**				164,27**
Lodo x Prof						0,97 NS				0,99 NS
CV%						40,47				36,66

¹ Médias seguidas por letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. NS, *, **: não significativo e significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

Não houve efeito das doses de lodo nos valores de pH e de V% e, apenas para a camada de 20-40 cm, na primeira amostragem, houve ajuste dos valores de pH ao modelo quadrático, mas com diminuição seguida de aumento e variação de apenas 0,2 unidade (Tabelas 7 e 8). GUIMARÃES (2009) avaliou em laboratório o efeito do LBG nestes atributos de solo e obteve aumentos lineares nos valores de pH e de V%. O aumento no valor de pH do Latossolo Vermelho argiloso avaliado pela autora foi de 0,4 unidade em 120 dias de incubação, mas na avaliação semanal do efeito do lodo no

valor de pH, ficou claro que as maiores variações ocorreram até os 14 dias e, depois disso, houve estabilização. A maior parte das variações nos valores de pH foi estreitamente associada com a amonificação e a nitrificação, mas o comportamento destas etapas da mineralização do N em campo não seguiu o padrão obtido em laboratório, como será tratado posteriormente e, por isso, os efeitos do LBG no pH medido em laboratório não se repetiram no campo.

Tabela 5. Teores de K no solo em amostras coletadas 38 dias (1ª. amostragem) e 238 dias (2ª. amostragem) após a segunda aplicação do lodo biológico de gelatina.

Prof cm	Lodo (m ³ ha ⁻¹)					Equações de regressão	F	R ²	
	0	102	204	306	408				Média ¹
K, mg dm ⁻³									
----- 1a. Amostragem -----									
0 - 5	3,2	4	3,6	3,4	3,4	3,5 a	Y = 3,55	-	-
5 - 10	3,7	3,9	4,2	3,9	3,7	3,9 a	Y = 3,86	-	-
10 - 20	3,3	3,9	3,8	3,5	3,7	3,6 a	Y = 3,66	-	-
20 - 40	2,5	2,7	2,9	2,3	2,6	2,6 b	Y = 2,58	-	-
40 - 60	1,9	1,9	1,8	1,7	1,7	1,8 c	Y = 1,81	-	-
Média	2,9	3,3	3,3	3,0	3,0				
----- 2a. Amostragem -----									
0 - 5	3,7	3,8	3,6	3,2	3,3	3,5 a	Y = 3,54	-	-
5 - 10	3,2	3,3	3,3	2,5	2,8	3,0 b	Y = 3,02	-	-
10 - 20	2,7	2,7	2,6	2,3	2,4	2,5 c	Y = 2,53	-	-
20 - 40	2,0	1,9	1,8	1,6	1,7	1,8 d	Y = 1,78	-	-
40 - 60	1,4	1,6	1,7	1,4	1,2	1,5 e	Y = 1,46	-	-
Média	2,6	2,7	2,6	2,2	2,3				
----- Teste F -----									
	1ª. amostragem					2ª. amostragem			
Lodo						0,90 NS	1,13 NS		
Prof						74,35**	122,90**		
Lodo x Prof						0,55 NS	0,48 NS		
CV%						29,07	38,43		

¹ Médias seguidas por letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. NS, *, **: não significativo e significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

Tabela 6. Teores de P no solo em amostras coletadas 38 dias (1ª. amostragem) e 238 dias (2ª. amostragem) após a segunda aplicação do lodo biológico de gelatina.

Prof cm	Lodo (m ³ ha ⁻¹)					Média ¹	Equações de regressão	F	R ²	
	0	102	204	306	408					
P, mg dm ⁻³										
----- 1a. Amostragem -----										
0 - 5	33	37	37	28	41	35a	Y = 35,20	-	-	
5 - 10	18	22	20	16	19	19b	Y = 19,00	-	-	
10 - 20	19	17	14	14	14	16b	Y = 15,80	-	-	
20 - 40	19	19	18	18	17	18b	Y = 18,36	-	-	
40 - 60	6	6	4	5	5	5c	Y = 5,36	-	-	
Média	19	20	19	16	19					
----- 2a. Amostragem -----										
0 - 5	29	25	15	20	20	22a	Y=29,93-0,092X+0,0002X ²	5,12*	0,7849	
5 - 10	17	15	11	12	14	14b	Y = 13,80	-	-	
10 - 20	13	10	8	10	9	10bc	Y = 10,24	-	-	
20 - 40	7	8	5	8	8	7c	Y = 7,16	-	-	
40 - 60	2	2	2	2	2	2d	Y = 2,24	-	-	
Média	14	12	8	10	11					
----- Teste F -----										
1ª. amostragem						2ª. amostragem				
Lodo						0,81 NS				1,03 NS
Prof						70,26**				47,21**
Lodo x Prof						0,78 NS				0,87 NS
CV%						44,54				91,70

¹ Médias seguidas por letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. NS, *, **: não significativo e significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

O teor de MO e, portanto, a CTC a pH 7,0, não variaram com a aplicação do LBG (Tabelas 9 e 10). O ajuste do teor de MO ao modelo quadrático na profundidade de 20-40 cm, 1ª. amostragem, não tem relevância do ponto de vista da fertilidade do solo e nem poderia ser atribuído ao lodo, que foi aplicado em superfície. Em condições de laboratório, GUIMARÃES (2009) também não obteve aumento no teor de MO com a aplicação de LBG, o que foi atribuído à relação C/N baixa e à taxa de decomposição alta. Resíduos que apresentam degradabilidade alta, de modo geral não resultam em aumento no teor de MO do solo com aplicações isoladas, mas quando as aplicações são repetidas por vários anos, o aumento pode ocorrer, como observado por

CANELLAS et al. (2003) com aplicação de vinhaça por 35 anos, e por HOUNTIN et al. (1997) com aplicações de dejetos líquido de suíno, por 14 anos.

Como ocorreu com os nutrientes, os valores de pH, o V%, os teores de MO e a CTC diminuíram com o aumento da profundidade de coleta das amostras (Tabelas 7 a 10).

Tabela 7. Valores de $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ no solo em amostras coletadas 38 dias (1ª. amostragem) e 238 dias (2ª. amostragem) após a segunda aplicação do lodo biológico de gelatina.

Prof cm	Lodo ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)					Média ¹	Equações de regressão	F	R ²	
	0	102	204	306	408					
pH em CaCl_2										
----- 1a. Amostragem -----										
0 - 5	3,0	5,6	5,6	5,5	5,4	5,0 a	Y = 5,52	-	-	
5 - 10	4,9	5,2	5,0	5,0	5,0	5,0 b	Y = 5,01	-	-	
10 - 20	4,9	4,8	4,7	4,8	4,7	4,8 b	Y = 4,77	-	-	
20 - 40	5,0	4,9	4,8	4,8	5,0	4,9 bc	Y=4,99-0,002X+0,000005X ²	5,07*	0,9834	
40 - 60	5,0	5,0	4,9	4,9	5,1	5,0 c	Y = 4,97	-	-	
Média	4,6	5,1	5,0	5,0	5,0					
----- 2a. Amostragem -----										
0 - 5	5,4	5,2	5,1	5,2	5,1	5,2 a	Y = 5,22	-	-	
5 - 10	5,0	5,1	4,9	5,1	4,9	5,0 a	Y = 5,00	-	-	
10 - 20	5,1	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2 ab	Y = 5,18	-	-	
20 - 40	4,9	4,8	4,8	5,0	4,9	4,9 b	Y = 4,89	-	-	
40 - 60	5,0	4,9	4,8	4,9	4,8	4,9 b	Y = 4,89	-	-	
Média	5,1	5,0	5,0	5,1	5,0					
----- Teste F -----										
1ª. amostragem						2ª. amostragem				
Lodo						0,27 NS				1,88 NS
Prof						86,70**				5,40**
Lodo x Prof						1,35 NS				0,30 NS
CV%						4,72				3,48

¹ Médias seguidas por letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. NS, *, **: não significativo e significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

Tabela 8. Valores de V% no solo em amostras coletadas 38 dias (1ª. amostragem) e 238 dias (2ª. amostragem) após a segunda aplicação do lodo biológico de gelatina.

Prof cm	Lodo (m ³ ha ⁻¹)					Equações de regressão	F	R ²	
	0	102	204	306	408				Média ¹
V%									
----- 1a. Amostragem -----									
0 - 5	66	66	71	63	66	66 a	Y = 66,43	-	
5 - 10	44	52	49	45	47	47 b	Y = 47,63	-	
10 - 20	40	39	36	36	37	38 c	Y = 37,94	-	
20 - 40	43	37	35	37	40	38 c	Y = 38,69	-	
40 - 60	40	37	33	36	38	37 c	Y = 36,98	-	
Média	47	46	45	43	46				
----- 2a. Amostragem -----									
0 - 5	70	63	64	66	69	66 a	Y = 66,43	-	
5 - 10	55	50	50	52	49	51 b	Y = 51,31	-	
10 - 20	43	41	41	44	46	43 c	Y = 42,91	-	
20 - 40	40	33	32	34	34	35 d	Y = 34,69	-	
40 - 60	37	32	32	35	31	33 d	Y = 33,37	-	
Média	49	44	44	46	46				
----- Teste F -----									
1ª. amostragem						2ª. amostragem			
Lodo						0,50 NS			1,48 NS
Prof						125,18**			125,19**
Lodo x Prof						1,19 NS			0,38 NS
CV%						19,63			18,67

¹ Médias seguidas por letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. NS, *, **: não significativo e significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

Houve aumento linear nos teores de N-NH₄⁺ nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, na primeira amostragem de solo, e na camada de 10-20 cm, na segunda amostragem (Tabela 11). Para o N-NO₃⁻, aumentos também lineares foram obtidos na camada de 40-60 cm na primeira amostragem, e de 10-20 cm na segunda (Tabela 12). A soma das duas formas (N-min) aumentou linearmente nas camadas de 0-5, 10-20 e 40-60 cm na primeira amostragem e de 10-20 cm na segunda (Tabela 13). Apesar de o ajuste ter sido significativo em poucos casos, os teores de N-NH₄⁺, N-NO₃⁻ e N-min foram maiores no tratamento com a maior dose de lodo, se comparado ao tratamento-testemunha, nas duas amostragens e em todas as profundidades. No tratamento com aplicação de 408 m³ ha⁻¹ de LBG o teor de N-NH₄⁺ foi 22 e 44% maior na primeira e na segunda

amostragens, respectivamente, ou 1,8 e 2,3 mg dm⁻³. Para o N-NO₃⁻ o aumento foi de 27 e 36%, com valores absolutos de 1,5 e 1,9 mg dm⁻³. Os valores representam a variação média de todas as profundidades.

Tabela 9. Teores de MO no solo em amostras coletadas 38 dias (1^a. amostragem) e 238 dias (2^a. amostragem) após a segunda aplicação do lodo biológico de gelatina.

Prof cm	Lodo (m ³ ha ⁻¹)					Equações de regressão	F	R ²	
	0	102	204	306	408				Média ¹
MO, g dm ⁻³									
----- 1a. Amostragem -----									
0 - 5	29	28	28	29	28	28 a	Y = 28,32	-	-
5 - 10	24	24	24	24	25	24 b	Y = 24,04	-	-
10 - 20	23	22	23	23	23	23 c	Y = 22,72	-	-
20 - 40	18	17	17	17	18	17 d	Y=18,25-0,015X+0,00004X ²	4,04*	0,8873
40 - 60	15	15	14	15	15	15 e	Y = 14,76	-	-
Média	22	21	21	22	22				
----- 2a. Amostragem -----									
0 - 5	28	29	29	27	29	28 a	Y = 28,36	-	-
5 - 10	26	25	24	25	25	25 b	Y = 25,04	-	-
10 - 20	24	23	24	23	23	23 c	Y = 23,32	-	-
20 - 40	17	16	16	17	17	17 d	Y = 16,60	-	-
40 - 60	14	14	15	14	13	14 e	Y = 13,84	-	-
Média	22	21	22	21	21				
----- Teste F -----									
	1 ^a . amostragem					2 ^a . amostragem			
Lodo						0,61 NS	0,28 NS		
Prof						427,02**	422,37**		
Lodo x Prof						0,55NS	0,93NS		
CV%						11,50	11,90		

¹ Médias seguidas por letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. NS, *, **: não significativo e significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

Tabela 10. Valores de CTC no solo em amostras coletadas 38 dias (1ª. amostragem) e 238 dias (2ª. amostragem) após a segunda aplicação do lodo biológico de gelatina.

Prof cm	Lodo (m ³ ha ⁻¹)					Média ¹	Equações de regressão	F	R ²
	0	102	204	306	408				
CTC, mmol _c dm ⁻³									
----- 1a. Amostragem -----									
0 - 5	84	83	91	82	87	85 a	Y = 85,70	-	-
5 - 10	75	80	73	71	72	74 b	Y = 74,39	-	-
10 - 20	71	68	67	67	68	68 c	Y = 68,35	-	-
20 - 40	58	56	55	54	57	56 d	Y = 56,11	-	-
40 - 60	47	47	46	46	47	47 e	Y = 46,69	-	-
Média	67	67	66	64	66				
----- 2a. Amostragem -----									
0 - 5	85	79	77	80	86	81 a	Y = 81,40	-	-
5 - 10	68	59	60	58	64	62 b	Y = 61,80	-	-
10 - 20	57	52	50	51	51	52 c	Y = 52,20	-	-
20 - 40	51	51	50	48	50	50 c	Y = 50,00	-	-
40 - 60	47	48	47	48	47	47 c	Y = 47,40	-	-
Média	62	58	57	57	60				
----- Teste F -----									
1ª. amostragem						2ª. amostragem			
Lodo						0,48 NS		2,48 NS	
Prof						146,02**		67,41**	
Lodo x Prof						0,72 NS		0,40 NS	
CV%						12,88		10,85	

¹ Médias seguidas por letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. NS, *, **: não significativo e significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

Tabela 11. Teores de N-NH_4^+ no solo em amostras coletadas 38 dias (1ª. amostragem) e 238 dias (2ª. amostragem) após a segunda aplicação do lodo biológico de gelatina.

Prof Cm	Lodo ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)					Média ¹	Equações de regressão	F	R ²	
	0	102	204	306	408					
N-NH_4^+ , mg dm^{-3}										
----- 1a. Amostragem -----										
0 - 5	5,5	7,7	9,8	7,8	9,3	8,0 a	$Y = 6,51 + 0,0075X$	5,24*	0,5135	
5 - 10	5,3	5,8	6,2	8,0	7,5	6,6 ab	$Y = 5,24 + 0,0065X$	4,00*	0,8158	
10 - 20	6,3	6,5	7,0	8,0	7,7	7,1 ab	$Y = 7,11$	-	-	
20 - 40	7,0	7,7	7,9	9,1	8,6	8,0 ab	$Y = 8,04$	-	-	
40 - 60	7,9	7,3	7,2	7,0	8,0	7,5 b	$Y = 7,51$	-	-	
Média	6,4	7,0	7,6	8,0	8,2					
----- 2a. Amostragem -----										
0 - 5	4,5	3,4	5,3	4,9	5,5	4,7 a	$Y = 4,74$	-	-	
5 - 10	4,8	3,7	5,2	5,0	4,9	4,7 ab	$Y = 4,74$	-	-	
10 - 20	3,3	3,4	5,4	5,5	5,5	4,6 ab	$Y = 3,35 + 0,0064X$	4,80*	0,7754	
20 - 40	3,7	4,9	5,6	4,3	6,2	4,9 b	$Y = 4,95$	-	-	
40 - 60	3,9	5,5	5,5	4,4	5,8	5,0 b	$Y = 5,04$	-	-	
Média	4,0	4,2	5,4	4,8	5,6					
Teste F										
1ª. amostragem						2ª. amostragem				
Lodo						1,31 NS				1,05 NS
Prof						2,35 NS				0,26 NS
Lodo x Prof						0,83NS				0,81NS
CV%						44,19				71,29

¹ Médias seguidas por letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. NS, *, **: não significativo e significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

Tabela 12. Teores de N-NO_3^- no solo em amostras coletadas 38 dias (1ª. amostragem) e 238 dias (2ª. amostragem) após a segunda aplicação do lodo biológico de gelatina.

Prof cm	Lodo ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)					Média ₁	Equações de regressão	F	R ²	
	0	102	204	306	408					
N-NO_3^- , mg dm^{-3}										
----- 1a. Amostragem -----										
0 - 5	2,4	4,1	4,6	3,6	6,6	4,2 a	$Y = 2,66 + 0,00778x$	11,99**	0,6572	
5 - 10	2,7	3,2	2,9	3,0	4,6	3,3 b	$Y = 3,27$	-	-	
10 - 20	3,1	4,0	3,8	3,7	4,7	3,9 ab	$Y = 3,85$	-	-	
20 - 40	2,5	3,3	3,6	3,4	3,4	3,2 b	$Y = 3,25$	-	-	
40 - 60	2,5	2,3	3,8	3,4	5,7	3,6 ab	$Y = 2,08 + 0,00722X$	8,99**	0,7682	
Média	2,7	3,4	3,7	3,4	5,0					
----- 2a. Amostragem -----										
0 - 5	3,2	1,8	4,8	3,1	3,9	3,3 a	$Y = 3,34$	-	-	
5 - 10	3,3	3,6	3,9	4,4	5,3	4,1 a	$Y = 4,09$	-	-	
10 - 20	3,0	4,9	5,5	5,1	6,9	5,1 a	$Y = 3,50 + 0,0078X$	8,22**	0,8153	
20 - 40	3,5	3,4	4,4	4,2	4,8	4,1 a	$Y = 4,07$	-	-	
40 - 60	2,3	3,1	3,3	3,3	3,8	3,2 a	$Y = 3,17$	-	-	
Média	3,0	3,4	4,4	4,0	5,0					
----- Teste F -----										
	1ª. amostragem					2ª. amostragem				
Lodo						2,87 NS				
Prof						3,04*				
Lodo x Prof						1,38NS				
CV%						69,47				
						1,42 NS				
						6,67 **				
						0,90NS				
						81,71				

¹ Médias seguidas por letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. NS, *, **: não significativo e significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

Tabela 13. Teores de N-mineral no solo em amostras coletadas 38 dias (1ª. amostragem) e 238 dias (2ª. amostragem) após a segunda aplicação do lodo biológico de gelatina.

Prof cm	Lodo (m ³ ha ⁻¹)					Equações de regressão	F	R ²	
	0	102	204	306	408				Média ¹
N-mineral, mg dm ⁻³									
----- 1a. Amostragem -----									
0 - 5	7,9	11,8	14,4	11,4	15,9	12,3 a	Y = 8,41 + 0,0148X	16,34**	0,5781
5 - 10	8,0	9,0	9,0	11,0	12,2	9,8 b	Y = 9,76	-	-
10 - 20	9,4	10,6	10,8	11,7	12,4	10,8 ab	Y = 9,62 + 0,0094X	6,59*	0,5765
20 - 40	9,5	11,0	11,4	12,5	12,0	11,3 ab	Y = 11,11	-	-
40 - 60	10,4	9,7	11,1	10,5	13,7	11,1 ab	Y = 9,09 + 0,0123X	11,16**	0,5355
Média	9,0	10,4	11,3	11,4	13,2				
----- 2a. Amostragem -----									
0 - 5	7,7	5,2	10,1	8,0	9,4	8,1 a	Y = 8,08	-	-
5 - 10	8,1	7,3	9,1	9,4	10,3	8,8 a	Y = 8,84	-	-
10 - 20	6,4	8,3	11,0	10,6	12,4	9,7 a	Y = 6,85 + 0,0141X	8,42**	0,9119
20 - 40	7,2	8,3	10,0	8,5	11,1	9,0 a	Y = 9,02	-	-
40 - 60	6,1	8,6	8,9	7,8	9,7	8,2 a	Y = 8,21	-	-
Média	7,1	7,5	9,8	8,9	10,6				
----- Teste F -----									
						1ª. amostragem	2ª. amostragem		
Lodo						2,45NS	1,50 NS		
Prof						3,07*	1,72 NS		
Lodo x Prof						1,15NS	0,79NS		
CV%						44,25	68,08		

¹ Médias seguidas por letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. NS, *, **: não significativo e significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

A interpretação dos teores de N-min no solo é difícil, em razão do grande número de fatores que interfere nas transformações e nos processos de perda do N. De qualquer modo, comparando os valores obtidos com os relatados por D'ANDRÉA et al. (2004) e MIYAZAWA et al. (2009), eles são menores. Os primeiros autores determinaram teores de N-NO₃⁻ de áreas em plantio direto com milho e feijão (sem aplicação de resíduos) e, na camada de 0-10 cm, ele foi de 32,11 mg kg⁻¹, em amostras coletadas no final do período chuvoso, após adubação mineral com dose aproximada de 280 kg ha⁻¹ de N por ano. MIYAZAWA et al. (2009) avaliaram os teores de N-NH₄⁺ e de N-NO₃⁻ em Latossolo Vermelho argiloso que recebeu até 60 m³ ha⁻¹ de dejetos líquidos

de suíno e obtiveram teores médios de N-NH_4^+ de $8,0 \text{ mg kg}^{-1}$, com pequena variação em relação a doses e profundidades de amostragem (até 60 cm). Quarenta e dois dias após a aplicação do dejetos, o teor de N-NO_3^- na camada de 0-10 cm variou de 22 mg kg^{-1} no tratamento-testemunha, a 34 mg kg^{-1} no tratamento que recebeu a maior dose de resíduo, o que equivale, no caso, a 54 kg ha^{-1} de N. O dejetos líquido de suíno tem algumas características semelhantes as do LBG: umidade alta, relação C/N baixa e alta proporção de N-NH_4^+ no N-total do resíduo, o que favorece aumento rápido nos teores de N-min do solo. Havia expectativa que isso ocorresse com a aplicação do LBG e que as variações fossem detectadas na amostragem feita 38 dias após a segunda aplicação do lodo. Após a colheita da cana, os teores de N-NH_4^+ estavam menores (em média, $2,6 \text{ mg dm}^{-3}$ a menos do que na 1ª. amostragem), e os de N-NO_3^- , considerando a média de doses e profundidades, $0,3 \text{ mg dm}^{-3}$ maior. Deste modo, fatores relacionados à cultura e ao manejo da cultura da cana-de-açúcar devem explicar as diferenças em relação aos dados da literatura.

Um aspecto que precisa ser considerado é o predomínio da forma amoniacal em relação à forma nítrica, nas duas amostragens de solo (Tabelas 11 e 12). O predomínio de NH_4^+ pode indicar taxa de nitrificação menor que de amonificação, o que é contrário às expectativas na maior parte das condições, ou pode ser associado à remoção recente de grandes quantidades de NO_3^- do sistema pelos processos de perda (lixiviação/desnitrificação) e pela absorção pelas plantas. Nas condições do experimento, a expectativa de perda elevada por lixiviação, desnitrificação ou absorção é pequena, porque as aplicações de LBG e as amostragens de solo foram feitas em épocas de baixa precipitação pluvial e umidade no solo. A perda de N-NO_3^- em Ultissolo, durante o ciclo da cana-planta adubada com 120 kg ha^{-1} de N-ureia, a 0,9 m de profundidade, foi de 18 kg ha^{-1} de N, sendo apenas 25 g provenientes do adubo (GHIBERTO et al., 2009). Em Oxissolo, para cana-planta também adubada com 120 kg ha^{-1} de N, a perda foi de $1,1 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, sendo apenas 54 g ha^{-1} provenientes do adubo (GHIBERTO et al., 2011). Parte das diferenças entre os resultados são explicadas pelo solo e pela drenagem interna medida em cada situação: 205 mm no Ultissolo e 91 mm no Oxissolo. Estes resultados sugerem que as perdas de N por lixiviação podem ser pequenas, particularmente nos solos mais argilosos, como o que

recebeu o LBG e, assim, a inibição parcial da nitrificação nas condições do experimento parece ser a explicação mais apropriada. Aeração, temperatura, umidade, abundância de íons amônio e população e diversidade de organismos nitrificadores são os fatores ambientais mais importantes que afetam a nitrificação e, depois dos fatores relacionados ao clima, o pH é o principal regulador das reações. Em solos com valores de pH variando entre 3,4 e 4,4, SAHRAWAT (1982) não constatou a produção de nitrato após incubação aeróbica durante quatro semanas, embora tenha verificado a formação de N amoniacal; em solos com pH acima de 6,0 havia maior teor de N-nitrato do que de N amoniacal; e, em solos orgânicos, a fração mineralizada do N total foi igual, mas no solo com pH 5,6 a forma nítrica correspondeu a 2% do total mineralizado, ao passo que no solo com pH 6,1 ela correspondeu a aproximadamente 22% (SAHRAWAT, 1982). Na área em que o LBG foi aplicado, o valor médio de pH CaCl_2 era de 5,3 na camada de 0 a 10 cm na 1ª. amostragem e diminuiu para 5,1 na 2ª. amostragem (Tabela 7), valores que estão fora da faixa de inibição completa da nitrificação, mas também estão distantes do ótimo, fixado em 8,5 (HAVLIN et al., 2005; SAHRAWAT, 2008). Por outro lado, há relatos que exsudatos radiculares de capins inibem a nitrificação (SUBBARAO et al., 2006). Embora não haja referências específicas para a cana-de-açúcar, THORBURN e GOODSON (2003) relataram que a forma nítrica representou, de modo geral, menos que 25% do N-min de solos da Austrália cultivados com cana-de-açúcar, considerando quatro locais, épocas diferentes e várias profundidades de coleta de solo. A proporção de N-NO_3^- em relação ao N-min nas amostras coletadas aos 38 dias após a 2ª. aplicação do LBG foi próxima a relatada por THORBURN e GOODSON (2003), 33% (médias de doses e profundidades). Na 2ª. amostragem de solo, após a colheita da cana, foi de 45%.

A diminuição da taxa de conversão de N-NH_4^+ a N-NO_3^- tem implicações muito importantes, tanto do ponto de vista ambiental, quanto do ponto de vista agrônomo, porque nesta condição o aproveitamento do N pelas plantas pode aumentar e as perdas por lixiviação podem diminuir. Este aspecto é particularmente importante quando se considera que a relação C/N do LBG é muito baixa e que esta condição, aliada ao aumento da umidade pela aplicação do lodo e ao aumento do valor de pH, mesmo em curto intervalo de tempo, podem resultar em taxas de mineralização muito

rápidas, como as que foram determinadas por GUIMARÃES (2009) e TANIGUCHI (2010), acima de 74% e de 80%, com meia-vida de 8 a 9 dias, em solos de textura argilosa e média, respectivamente.

Apesar da relação C/N baixa e da taxa de mineralização alta determinada em laboratório, as condições em que o LBG foi aplicado eram favoráveis à imobilização de N. Com o corte da cana ocorre morte parcial de raízes (BALL-COELHO et al., 1992; SMITH et al., 2005) e, duas semanas após o corte da cana, BALL-COELHO et al. (1992) estimaram a massa de raízes mortas em $0,15 \text{ kg m}^{-2}$, cerca de 17% da massa total de raízes ($0,94 \text{ kg m}^{-2}$) na profundidade de 1,52 m. Assumindo que a relação C/N da raiz da cana seja semelhante à do milho, 22,4 (JANSSEN, 1996), é possível admitir que parte significativa do N-min adicionado com o LBG foi imobilizada e, dada a baixa precipitação pluvial, que persistiu até outubro, quando foi feita a 2ª. aplicação de LBG, as perdas no período devem ter sido pequenas. Após a 2ª. aplicação do LBG as condições para mineralização, absorção e lixiviação eram mais favoráveis, mas a perda em culturas com sistema radicular profundo é desfavorecida. Outro aspecto que favorece a imobilização de N no sistema e que precisa ser considerado é a cobertura de palha sobre o solo. A palha apresenta relação C/N muito alta e degradabilidade baixa. De acordo com OLIVEIRA et al. (1999) a perda de massa da palhada em um ano foi de aproximadamente 20% e apenas 18% do N contido no material foi perdido no mesmo período. Assim, o material orgânico que aos poucos vai sendo incorporado ao solo também pode favorecer a imobilização de N, particularmente nos primeiros centímetros, onde a parte sólida do LBG vai permanecer.

Perdas por volatilização também podem ter ocorrido, porque o resíduo é alcalino e parte do N está na forma amoniacal, mas para minimizar as perdas, para a aplicação do resíduo a palha da cana foi movida da linha de plantas para a entrelinha e, após as aplicações de LBG, foi feita irrigação em todas as parcelas.

Os teores de Na^+ trocável no solo aumentaram com a aplicação do lodo, obedecendo aos modelos linear (nas profundidades de 0-5, 10-20 e 40-60 cm) ou quadrático (5-10 e 20-40 cm), na 1ª. amostragem. Na 2ª. amostragem, para todas as profundidades, o aumento foi linear (Tabela 14). Em ambas as amostragens, houve diminuição do teor de Na com o aumento da profundidade (Tabela 14). As quantidades

totais de Na aplicadas, considerando o aumento das doses de LBG, foram 68; 136; 204 e 272 kg ha⁻¹. Convertendo os resultados da Tabela 14, também em função das doses de LBG, tem-se recuperação de 116; 182; 257 e 281 kg ha⁻¹ de Na, na camada de 0 a 60 cm, 38 dias após a 2^a. aplicação do lodo, considerando que no tratamento-testemunha havia 111 kg ha⁻¹ de Na no solo. A quantidade recuperada maior que a aplicada é devida à forma de aplicação, localizada na linha de plantas. De qualquer modo, o resultado é indicativo de que, até a primeira coleta de solo, a mobilização do íon abaixo de 60 cm de profundidade deve ter sido pequena. Na 2^a. amostragem de solo, os teores de Na estavam, em média, 40% menores do que na 1^a. e, neste caso, a lixiviação deve ter contribuído porque a precipitação total do período foi alta (1.190 mm). GUIMARÃES (2009) obteve, com aplicação de LBG em sistema fechado, aumento no valor de pH e na CTC efetiva do solo, mas o aumento na CTC efetiva foi menor do que a soma dos cátions avaliados no sistema, o que a fez concluir que parte dos cátions avaliados estava na forma solúvel e, em sistema aberto, seria facilmente perdida por lixiviação. A absorção pela planta deve ter tido pequena participação nas variações do Na⁺ trocável, uma vez que a concentração de Na nas folhas não foi alterada pelas doses de LBG (Tabela 15). PLAUT et al. (2000) determinaram que duas cultivares de cana foram eficientes em excluir o Na dos colmos e, particularmente, das folhas e, ainda, que quase todo o Na absorvido acumulou nas raízes. TANIGUCHI (2010), apesar de ter observado aumento na quantidade de Na acumulado na parte aérea de plantas de milho adubadas com LBG, em experimento em vasos, relatou que a recuperação aparente de Na pelas plantas foi baixa e variou entre 4 e 5% do total de Na aplicado. Com base na concentração de Na nas folhas (Tabela 15) e admitindo produção de 10 a 15 t ha⁻¹ de matéria seca de palha, a quantidade de Na nos restos culturais da cana estaria entre 11,6 e 17,4 kg ha⁻¹, cerca de 4 a 6% do total aplicado com a maior dose de LBG.

Tabela 14. Teores de Na no solo em amostras coletadas 38 dias (1ª. amostragem) e 238 dias (2ª. amostragem) após a segunda aplicação do lodo biológico de gelatina.

Prof cm	Lodo (m ³ ha ⁻¹)					Equações de regressão	F	R ²		
	0	102	204	306	408				Média ¹	
Na, mmol _c dm ⁻³										
----- 1a. Amostragem -----										
0 - 5	1,40 a	2,40 a	2,80 a	4,10 a	4,70 a	3,08	Y = 1,40 + 0,01X	122,94 **	0,9849	
5 - 10	1,20 ab	2,40 a	3,00 a	4,00 a	4,10 b	2,94	Y = 1,21 + 0,12X + 0,00001X ²	6,41 *	0,9891	
10 - 20	1,00 abc	2,00 ab	2,90 a	3,40 b	4,00 b	2,66	Y = 1,17 + 0,01X	183,41 **	0,9771	
20 - 40	0,70 bc	1,80 b	2,10 b	2,50 c	2,60c	1,94	Y = 0,77 + 0,01X + 0,00001X ²	6,50 *	0,9746	
40 - 60	0,60 c	0,90 c	1,40 c	1,80 d	1,70 d	1,28	Y = 0,65 + 0,003X	51,93 **	0,9236	
Média	0,98	1,90	2,44	3,16	3,42					
----- 2a. Amostragem -----										
0 - 5	1,10	1,20	1,30	1,50	1,40	1,30 a	Y = 1,03 + 0,02X - 0,00004X ²	4,69 *	0,8925	
5 - 10	0,80	0,80	1,10	1,40	1,20	1,06 b	Y = 0,80 + 0,0013X	32,01 **	0,7151	
10 - 20	0,60	0,80	1,20	1,40	1,30	1,06 b	Y = 0,69 + 0,0019X	43,66 **	0,8473	
20 - 40	0,50	0,70	0,80	1,10	1,10	0,84 c	Y = 0,52 + 0,0016X	25,99 **	0,9091	
40 - 60	0,30	0,70	0,80	0,80	0,90	0,70 c	Y = 0,45 + 0,0013X	28,29 **	0,8459	
Média	0,66	0,84	1,04	1,22	1,20					
Teste F										
	1ª. amostragem					2ª. amostragem				
Lodo						44,96**				19,37**
Prof						152,73**				48,51**
Lodo x Prof						7,74**				1,66NS
CV%						31,06				27,67

¹ Médias seguidas por letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. NS, *, **: não significativo e significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

4.2. Macronutrientes e Na nas folhas de cana-de-açúcar

As concentrações de N, P, K e Ca nas folhas da cana-de-açúcar não variaram em função das doses de LBG, as concentrações de Mg diminuíram linearmente e as de S aumentaram linearmente (Tabela 15). Tanto a diminuição na concentração de Mg quanto o aumento na concentração de S foram muito pequenos, respectivamente 0,13 e 0,12 g kg⁻¹. Considerando as faixas de concentrações adequadas de macronutrientes nas folhas de cana-de-açúcar (RAIJ e CANTARELLA, 1996), N, P e S estavam abaixo do adequado e, Ca, Mg e K, muito próximos do limite inferior das classes. RAIJ e CANTARELLA (1996), que propuseram as faixas de concentrações adequadas para a cana, argumentam que a diagnose foliar para a cultura é uma técnica que ainda não se

firmou no Brasil, e que a composição química da folha varia com a variedade, o solo, o clima e a época de amostragem. Por isso, de acordo com os autores, as faixas devem ser tomadas como referência, por serem valores comuns em canaviais bem supridos de nutrientes. Por isso, concentrações abaixo dos limites mínimos devem ser interpretadas como indício de possível deficiência, e não como certeza. No caso, como a produtividade da cana-de-açúcar foi alta (Tabela 16), a deficiência não deve ter ocorrido. O que foi observado, e que pode justificar os resultados, foi crescimento exuberante das plantas e, como a coleta foi feita em fevereiro, época de máximo crescimento vegetativo, pode ter ocorrido efeito de diluição.

Tabela 15. Concentração de Na e de macronutrientes na folha usada para diagnose nutricional da cana-de-açúcar.

Elemento	Lodo (m ³ ha ⁻¹)						Equações de regressão	F	R ²
	0	102	204	306	408	Média			
Na (mg kg ⁻¹)	1164	1170	1146	1146	1164	1158	Y = 1158,00	-	-
F					1,27NS				
CV%					1,92				
N (g kg ⁻¹)	13,0	13,6	13,4	14,0	13,8	13,6	Y = 13,56	-	-
F					1,16NS				
CV%					5,90				
P (g kg ⁻¹)	0,72	0,70	0,70	0,70	0,72	0,71	Y = 0,71	-	-
F					0,71NS				
CV%					4,12				
K (g kg ⁻¹)	10,6	11,0	11,2	11,0	11,0	10,96	Y = 10,96	-	-
F					1,71NS				
CV%					3,41				
Ca (g kg ⁻¹)	2,64	2,56	2,50	2,40	2,56	2,53	Y = 2,53	-	-
F					1,21NS				
CV%					2,53				
Mg (g kg ⁻¹)	1,20	1,12	1,10	1,08	1,04	1,11	Y = 1,17-0,064X	6,13*	0,7273
F					2,11NS				
CV%					8,25				
S (g kg ⁻¹)	0,88	0,78	0,94	0,92	0,96	0,90	Y = 0,84 + 0,060X	6,08*	0,4429
F					3,43*				
CV%					9,60				

NS, *, não significativo e significativo a 5% de probabilidade.

4.3. Componentes de produção da cana-de-açúcar

A produção de cana-de-açúcar e as variáveis Brix, Pol % cana, AR cana e ATR não variaram com a aplicação de LBG (Tabela 16). Considerando as doses de LBG aplicadas, foram fornecidos à cana de açúcar, 57; 114; 171 e 228 kg ha⁻¹ de N total, nos tratamentos 0,5TA; 1,0TA; 1,5TA e 2,0TA, respectivamente. Admitindo a taxa de mineralização estimada em laboratório, 87,7% (TANIGUCHI, 2010), seriam mineralizados 50; 100; 150 e 200 kg ha⁻¹ de N. Portanto, são quantidades grandes de N a mais no sistema, que geram expectativa de aumento de produção. No entanto, na camada de 0-60 cm, havia cerca de 57 kg ha⁻¹ de N-min no solo no momento da 1ª. amostragem de solo, no tratamento testemunha e, no final do ciclo, de acordo com a medida feita na 2ª. amostragem, havia 41 kg ha⁻¹. Estes números justificam, pelo menos em parte, a não resposta ao N. O N do solo tem sido considerado a principal fonte do nutriente para a cana-de-açúcar, uma vez que a cultura absorve grande quantidade de N e, em pesquisas com ¹⁵N, tem sido evidenciada baixa recuperação do N do adubo: 21% (GHIBERTO et al., 2011) em cana-planta adubada com 120 kg ha⁻¹ de N-ureia; 31% (FORTES et al., 2011) em três ciclos, com aplicação de 80 kg ha⁻¹ de N-ureia no primeiro (cana-planta); 17% em cana-soca adubada com 100 kg ha⁻¹ de N-ureia (GAVA et al., 2003). Segundo GHIBERTO et al. (2011), como os outros processos de perda foram de pequena expressão e a recuperação do N do fertilizante foi baixa no experimento que conduziram, o N do adubo deve ter imobilizado, ao mesmo tempo em que o N do solo deve ter mineralizado e, por isso, o N do solo foi admitido como a fonte principal de N para a cultura.

Tabela 16. Componentes de produção de cana-de-açúcar em função de doses de lodo biológico de indústria de gelatina.

Componente de produção	Doses de lodo (m ³ ha ⁻¹)					Equação de regressão	F	R ²	
	0	102	204	306	408				Médias
Colmos (t ha ⁻¹)	90,39	89,9	91,87	98,06	93,01	92,65	Y = 92,6430	-	-
°Brix (%)	21,42	20,78	21,36	20,78	21,32	21,13	Y = 21,1320	-	-
Pol cana (%)	16,89	16,26	16,65	16,14	16,68	16,52	Y = 16,5227	-	-
AR cana (%)	0,465	0,495	0,475	0,505	0,484	0,48	Y = 0,4848	-	-
ATR (kg t ⁻¹)	167	161,1	164,7	160,1	166,1	163,8	Y = 163,5788	-	-

No experimento com a aplicação do LBG tem-se que considerar, ainda, que o potencial de resposta da planta era menor por ser cana-soca, e que a fixação biológica de N e a decomposição da palha remanescente do ciclo anterior podem ter fornecido parte do N necessário. BALDANI et al. (2002) admitem que as pequenas quantidades de N fornecidas à cana-de-açúcar durante os programas de melhoramento genético contribuíram para o desenvolvimento de uma associação eficiente da planta com bactérias fixadoras de N_2 . No entanto, as tentativas de estimar as quantidades fixadas não foram conclusivas, sobretudo em condições de campo. BODDEY et al. (1995) estimaram que mais de 60% do N total de plantas de cana-de-açúcar podem vir da fixação biológica, o que equivale a mais de 150 kg ha^{-1} por ano. No entanto, o balanço médio do N em experimento com cana-de-açúcar iniciado em 1983 e reavaliado em 1999 foi de mais 53 kg ha^{-1} de N por corte, o qual foi atribuído à fixação biológica (RESENDE et al., 2006). Por outro lado, a participação do N dos restos culturais em áreas de colheita de cana sem queima da palha tem sido considerada pequena porque o resíduo, em função da relação C/N, degrada apenas lentamente. Em soqueira de cana, GAVA et al. (2003) relataram que apenas 4% do N acumulado na parte aérea das plantas foi proveniente da degradação da palha. Certamente, todos os processos atuam simultaneamente e, somados, justificam a não resposta da cana ao fornecimento de N.

A ausência de efeito da aplicação do LBG nas características tecnológicas deve estar associada à manutenção de concentrações de N disponível mais ou menos equilibradas durante o período de crescimento da cultura, uma vez que, excesso de N pode aumentar o conteúdo de açúcares redutores em detrimento do acúmulo de sacarose (ORLANDO FILHO, 1983), embora CHIBA et al. (2008) tenham obtido diminuição na fibra e aumento na ATR com aplicação de lodo de esgoto, no segundo de dois anos de avaliação. No experimento conduzido por MARQUES et al. (2007) foi verificado que não houve influência de doses de lodo de esgoto na produtividade e nas variáveis tecnológicas, Brix, Pol, pureza (% caldo), Pol e fibra % cana.

Deste modo, como não houve efeito negativo do lodo biológico no solo e na planta, ele é potencialmente utilizável na cultura da cana-de-açúcar.

5. CONCLUSÕES

Em solo de alta fertilidade, a aplicação de lodo biológico de indústria de gelatina não resultou em aumento de produção de cana-soca e nem alterou suas características tecnológicas.

Houve pequena contribuição do lodo para o N-mineral do solo e os demais nutrientes e atributos químicos do solo não variaram com a aplicação do lodo.

O aumento do teor de Na trocável do solo decorrente de uma aplicação do lodo biológico de indústria de gelatina foi temporário e não foi prejudicial para a cultura da cana-de-açúcar.

6. REFERÊNCIAS

ABREU JUNIOR, C.H.; BOARETTO, A.E.; MURAOKA, T.; KIEHL, J.C. Uso agrícola de resíduos orgânicos potencialmente poluentes: propriedades químicas do solo e produção vegetal. **Tópicos em Ciência do Solo**, v.4, p. 391-470, 2005.

AJWA, H.A.; TABATABAI, M.A. Decomposition of different organic materials in soils. **Biology and Fertility of Soils**, v.18, p.175-182, 1994.

ALVES, W.L.; MELO, W.J.; FERREIRA, M.E. Efeito do composto de lixo urbano em um solo arenoso e em plantas de sorgo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.729-736, 1999.

ARAÚJO, J.C. **Efeito do lodo de indústria de gelatina na fertilidade do solo e no capim-tanzânia**. 2006. 30p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Resíduos sólidos – Classificação**. NBR 10004. 2004. 71p.

BALDANI, J.I.; REIS, V.M.; BALDANI, V.L.D.; DÖBEREINER, J. A brief story of nitrogen fixation in sugarcane — reasons for success in Brazil. **Functional Plant Biology**, v.29, p.417-423, 2002.

BALL-COELHO, B.; SAMPAIO, E.V.S.B.; TIESSEN, H.; STEWART, J.W.B. Root dynamics in plant and ratoon crops of sugar cane. **Plant and Soil**, v.142, p.297-305, 1992.

BARBOSA, J. C.; MALDONADO Jr., W. **AgroEstat** - Sistema para Análises Estatísticas de Ensaio Agrônomicos, Versão 1.1.0.626, 2011.

BERNARDI, A.C.C.; MACHADO, P.L.O.A.; FREITAS, P.L.; COELHO, M.R.; LEANDRO, W.M.; OLIVEIRA JÚNIOR, J.P.; OLIVEIRA, R.P.; SANTOS, H.G.; MADARI, B.E.; CARVALHO, M.C.S. **Correção do solo e adubação no sistema plantio direto nos cerrados**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2003. 22p. (Embrapa Solos. Documentos, 46)

BODDEY, R.M.; OLIVEIRA, O.C.; URQUIAGA, S.; REIS, V.M.; OLIVARES, F.L.; BALDANI, V.L.D.; DÖBEREINER, J. Biological nitrogen fixation associated with sugar cane and rice: Contributions and prospects for improvement. **Plant and Soil**, v.174, p.195-209, 1995.

BRASIL. **Instrução Normativa SDA nº 28**, de 27 julho de 2007. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 31 jul. 2007. Seção 1, p.11.

BURGOS, P.; MADEJÓN, E.; CABRERA, F. Nitrogen mineralization and nitrate leaching of a sandy soil amended with different organic wastes. **Waste Management & Research**, v.24, p.175-182, 2006.

CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônômico de Campinas**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2009. 77p. (Boletim Técnico, 106)

CANELLAS, L.P.; VELLOSO, A.C.X.; MARCIANO, C.R.; RAMALHO, J.F.G.P.; RUMJANEK, V.M.; REZENDER, C.E. ; SANTOS, G.A. Propriedades químicas de um cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.935-944, 2003.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O. Determinação de nitrogênio inorgânico em solo pelo método da destilação a vapor. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A., eds. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. p.270-276.

CARMO, C.A.F.S.; ARAÚJO, W.S.; BERNARDI, A.C.C. ; SALDANHA, M.F.C. **Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. p.41. (Circular técnica, 6)

CARTER, D.O.; YELLOWLEES, D.; TIBBETT, M. Cadaver decomposition in terrestrial ecosystems. **Naturwissenschaften**, v.94, p.12–24, 2007.

CEPAGRI - Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_064.html>. Acesso em 08 jul. 2011.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Aplicações de lodos de sistema de tratamento biológico em áreas agrícolas**: critérios para projetos e operações. São Paulo: Cetesb, 1999a. 32p. (Norma P4.230)

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Lodo de curtume**: critérios para o uso em áreas agrícolas e procedimentos para apresentação de projetos. São Paulo: Cetesb, 1999b. 35p. (Norma P4.233)

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Efluentes e lodos fluidos de indústrias cítricas**: critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola. São Paulo: Cetesb, 2010. 20p. (Norma P4.002)

CHIBA, M.K.; MATTIAZZO, M.E.; OLIVEIRA, F.C. Cultivo de cana-de-açúcar em Argissolo tratado com lodo de esgoto. I - Disponibilidade de nitrogênio no solo e

componentes de produção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.643-652, 2008.

CONSECANA – SP: Conselho dos produtores de cana-de-açúcar, açúcar e álcool do Estado de São Paulo. **Manual de instruções**. 5.ed. Piracicaba: Consecana, 2006. 112p.

D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N. ; GUILHERME, L.R.G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.179-186, 2004.

DENDOOVEN, L.; BONHOMME, E.; MERCKX, R.; VLASSAK, K. N dynamics and sources of N₂O production following pig slurry application to a loamy soil. **Biology and Fertility of Soils**, v.26, p.224-228, 1998.

DYNIA, J.F.; SOUZA, M.D.; BOEIRA, R.C. Lixiviação de nitrato em Latossolo cultivado com milho após aplicações sucessivas de lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.855-862, 2006.

FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. Estudo do efeito de vermicomposto sobre absorção de nutrientes e produção de matéria seca pelo milho e propriedades do solo. **Científica**, v.20, p.217-227, 1992.

FIRME, L.P. **Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado no sistema solo-planta em Latossolo cultivado com cana-de-açúcar**. 2007. 109p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2007.

FORTES, C.; TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C.; FERREIRA, D.A.; FRANCO, H.C.J.; OTTO, R. Recovery of nitrogen (¹⁵N) by sugarcane from previous crop residues and urea fertilisation under a minimum tillage system. **Sugar Tech**, v.13, p.42–46, 2011.

FRENEY, J.R.; DENMEAD, O.T.; WOOD, A.W.; SAFFIGNA, P.G.; CHAPMAN, L.S.; HAM, G.J.; HERNEY, A.P.; STEWART, R.L. Factors controlling ammonia loss from trash covered sugarcane fields fertilized with urea. **Fertilizer Research**, v.31, p.341-349, 1992.

GAVA, G.J.C.; TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C.; OLIVEIRA, M.W. Recuperação do nitrogênio (¹⁵N) 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.

GIBERTO, P.J.; LIBARDI, P.L.; BRITO, A.S.; TRIVELIN, P.C.O. Leaching of nutrients from a sugarcane crop growing on an Ultisol in Brazil. **Agricultural Water Management**, v. 96, p.1443–1448, 2009.

GIBERTO, P.J.; LIBARDI, P.L.; BRITO, A.S.; TRIVELIN, P.C.O. Nitrogen fertilizer leaching in an Oxisol cultivated with sugarcane. **Scientia Agricola**, v.68, p.86-93, 2011.

GUIMARÃES, R.C.M. **Atributos químicos em solos tratados com lodo biológico de indústria de gelatina**. 2009. 48p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) –

Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.

HAVLIN, J.L.; BEATON, J.D.; TISDALE, S.L. ; NELSON, W.L. **Soil fertility and fertilizers. An introduction to nutrient management**. 7. ed. New Jersey: Pearson Education, 2005. 515p.

HÄTTENSCHWILER, S.; TIUNOV, A.; SCHEU, S. Biodiversity and litter decomposition in terrestrial ecosystems. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v.36, p.191-218, 2005.

HOUNTIN, J.A.; COUILLARD, D. ; KARAM, A. Soil carbon, nitrogen and phosphorus contents in maize plots after 14 years of pig slurry applications. **Journal of Agricultural Science**, v.129, p.187-191, 1997.

JANSSEN, B.H. Nitrogen mineralization in relation to C:N ratio and decomposability of organic materials. **Plant and Soil**, v.181, p.39-45, 1996.

KUZYAKOV, Y.; FRIEDEL, J.K.; STAHR, K. Review of mechanisms and quantification of priming effects. **Soil Biology & Biochemistry**, v.32, p.1485-1498, 2000.

MANTOVANI, J.R.; FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; BARBOSA, J.C. Alterações nos atributos de fertilidade em solo adubado com composto de lixo urbano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.817-824, 2005.

MARQUES, M.O.; BELLINGIERI, P.A.; MARQUES, T.A.; NOGUEIRA, T.A.R. Qualidade e produtividade da cana-de-açúcar cultivada em solo com doses crescentes de lodo de esgoto. **Bioscience Journal**, v.23, p.111-122, 2007.

MIYAZAWA, M.; BARBOSA, G.M.C. ; PARRA, M.S. Lixiviação de nitrogênio no solo pela aplicação de dejetos de suíno. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE ANIMAIS, 1. Florianópolis, 2009. Anais. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2009. v.2 p.143-147.

NARAMABUYE, F.X.; HAYNES, R.J. The liming effects of five organic manures when incubated with and acid soil. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.170, p.615-622, 2007.

NOBILE, F.; GALBIATTI, J.A.; MURAISHI, R.I.; ARAUJO, J.R. Variáveis biométricas da cana-de-açúcar fertilizada com resíduos orgânicos e industrial e irrigada com água servida e potável. **Engenharia Agrícola**, v.31, p.193-200, 2011.

NOGUEIRA, T.A.R.; MARQUES, M.O.; FONSECA, I.M.; MENDONÇA, L.Q.H. Nutrientes em cana-de-açúcar de 5º corte cultivada em solo tratado com lodo de esgoto e vinhaça por quatro anos consecutivos. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.7, p.7-19, 2007.

- OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E.; MARCIANO, C.R.; MORAES, S.O. Lixiviação de nitrato em um Latossolo Amarelo Distrófico tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, v.58, p.171-180, 2001.
- OLIVEIRA, M.W.; TRIVELIN, P.C.O.; PENATTI, C.P. ; PICCOLO, M.C. Decomposição e liberação de nutrientes da palhada de cana-de-açúcar em campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p.2359-2362, 1999.
- ORLANDO FILHO, J. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Rio de Janeiro: IAA/PLANALSUCAR, 1983. 368p. (Coleção Planalsucar, 2)
- PARNAUDEAU, V.; CONDOM, N.; OLIVER, R.; CAZEVIEILLE, P.; RECOUS, S. Vinasse organic matter quality and mineralization potential, as influenced by raw material, fermentation and concentration processes. **Bioresource Technology**, v.99, p.1553-1562, 2008.
- PLAUT, Z.; MEINZER, F.C. ; FEDERMAN, E. Leaf development, transpiration and ion uptake and distribution in sugarcane cultivars grown under salinity. **Plant and Soil**, v.218, p.59-69, 2000.
- PLAZA, C.; GARCÍA-GIL, J.C.; POLO, A. Dynamics and model fitting of nitrogen transformations in pig slurry attended soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.36, p.2137-2152, 2005.
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A., eds. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H. Outras culturas industriais. In: In: RAIJ, B.van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. ; FURLANI, A.M.C., eds. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo ; Fundação IAC, 1996. p.233-236. (Boletim técnico, 100)
- REIS, T.C. ; RODELLA, A.A. Cinética da degradação da matéria orgânica e variação do pH do solo sob diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.619-626, 2002.
- RESENDE, A.S.; XAVIER, R.P.; OLIVEIRA, O.C.; URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M. Long-term effects of pre-harvest burning and nitrogen and vinasse applications on yield of sugar cane and soil carbon and nitrogen stocks on a plantation in Pernambuco, N.E. Brazil. **Plant and Soil**, v.281, p.339-351, 2006.
- RIBEIRO, R.M. **Tratamento do resíduo de indústria de gelatina através da compostagem, com emprego de serragem e palha de café**. 2007. 62p. Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambiente) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.
- RODELLA, A.A.; SILVA, L.C.F.; ORLANDO FILHO, J.O. Effect of filter cake application on sugarcane yields. **Turrialba**, v.40, p.323-326, 1990.

- ROSSETO, R.; CANTARELLA, H.; DIAS, F.L.F.; VITTI, A.C.; TAVARES, S. Cana-de-açúcar. In: PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R., eds. **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: culturas**. Piracicaba: IPNI, 2010. v.3. p.163-230.
- ROSSI, M.; OLIVEIRA, J.B. O mapa pedológico do Estado de São Paulo. **O Agrônomo**, v.52, p.21-23, 2000.
- SAHRAWAT, K.L. Nitrification in some tropical soils. **Plant and Soil**, v.65, p.281-286, 1982.
- SAHRAWAT, K.L. Factors affecting nitrification in soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.39, p.1436-1446, 2008.
- SILVA, F.C.; BOARETTO, A.E.; BERTON, R.S.; ZOTELLI, H.B.; PEXE, C.A., BERNARDES, E.M. Efeito do lodo de esgoto na fertilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.831-840, 2001.
- SILVA, M.A.G.; ROQUE, S.A.T.; MUNIZ, A.S.; MATTA, J.D.V. ; COSTA, A.C.S. Use of agro-industrial organic compound: yield and nutrient absorption in wheat. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.39, p.1311-1320, 2008.
- SILVEIRA, P.M.; ZIMMERMANN, F.J.P.; SILVA, S.C.; CUNHA, A.A. Amostragem e variabilidade espacial de características químicas de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de preparo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.2057-2064, 2000.
- SILVEIRA, A. O.; ROCHA, A. R.; SILVA, M. A.; TEDESCO, M. J.; SELBACH, P. A. Efeito fertilizante do lodo da estação de tratamento de efluentes (ETE) de uma indústria de gelatina sobre aveia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife. **Anais...** Recife: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. CD-ROM.
- SIMONETE, M.A.; KIEHL, J.C.; ANDRADE, C.A.; TEIXEIRA, C.F.A. Efeito do lodo de esgoto em um Argissolo e no crescimento e nutrição do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.1187-1195, 2003.
- SMITH, D.M.; INMAN-BAMBER, N.G. ; THORBURN, P.J. Growth and function of the sugarcane root system. **Field Crops Research**, v.92, p.169-183, 2005.
- SPIRONELLO, A.; RAIJ, B. van; PENATTI, C.P.; CANTARELLA, H.; MORELLI, J.L.; ORLANDO FILHO, J.; LANDELL, M.G.A. ; ROSSETTO, R. Cana-de-açúcar. In: RAIJ, B.van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. ; FURLANI, A.M.C., eds. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo ; Fundação IAC, 1996. p.237-239. (Boletim técnico, 100)
- SUBBARAO, G.V.; ITO, O.; SAHRAWAT, K.L.; BERRY, W.L.; NAKAHARA, K.; ISHIKAWA, T.; WATANABE, T.; SUENAGA, K.; RONDON, M. ; RAO, I.M. Scope and

strategies for regulation of nitrification in agricultural systems - challenges and opportunities. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v.25, p.303-335, 2006.

STEVENSON, F.J. **Cycles of soil**. Carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. New York: John Wiley & Sons, 1986. 379p.

STEVENSON, F.J. **Humus chemistry**. Genesis, composition, reactions. 2.ed. New York: John Wiley & Sons, 1994. 496p.

TAN, K.H. **Environmental soil science**. 2.ed. New York: Marcel Dekker, 2000. 452p.

TANIGUCHI, C.A. **Mineralização do lodo biológico de indústria de gelatina, atributos químicos de solo e uso fertilizante para produção de milho**. 2010. 109p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2010.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos-UFRGS, 1995. 174p. (Boletim técnico, 5)

TEDESCO, M.J.; SELBACH, P.A.; GIANELLO, C.; CAMARGO, F.A.O. Resíduos orgânicos no solo e impactos no ambiente. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O., eds. **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. Ecossistemas tropicais e subtropicais. 2.ed. Metrópole, Porto Alegre, 2008. p.113-135.

THORBURN, P.J.; GOODSON, M.A. **Overcoming on-farm constraints to productivity and profitability in a wet tropical area**. Brisbane: Sugar Research & Development Corporation, 2003. 25p. (Final Report, Project BCB001)

ZECH, W.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, G; KAISER, K.; LEHMANN, J.; MIANO, T.M.; MILTNER, A.; SCHROTH, G. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. **Geoderma**, v.79, p.117-161, 1997.