

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIENCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**AVALIAÇÃO DE CINZA DE CALDEIRA DE INDÚSTRIA DE
CONCENTRADOS DE FRUTAS CÍTRICA SOBRE AS
PROPRIEDADES DE SOLO DEGRADADO E SOLO
CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR**

Thiago Silveira
Engenheiro Agrônomo

Jaboticabal – São Paulo – Brasil
Fevereiro de 2010

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIENCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**AVALIAÇÃO DE CINZA DE CALDEIRA DE INDÚSTRIA DE
CONCENTRADOS DE FRUTAS CÍTRICA SOBRE AS
PROPRIEDADES DE SOLO DEGRADADO E SOLO
CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR**

Thiago Silveira

Orientador: Prof. Dr. Robinson Antonio Pitelli

Dissertação apresentada a Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de mestre em Agronomia (Produção Vegetal).

Jaboticabal – São Paulo – Brasil

Fevereiro de 2010

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

THIAGO SILVEIRA – Nasceu em Jaboticabal, São Paulo, em 26 de outubro de 1979, filho de Jurandir Antonio da Silveira e Maria Martha Willian da Silveira. Formou-se Engenheiro Agrônomo, em 2003, pela Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais. Como engenheiro agrônomo, trabalhou nas empresas Carol, Sipicam Isagro, Basf. Em agosto de 2007, Iniciou o mestrado em Agronomia, área de concentração Produção Vegetal na Universidade Estadual Paulista – UNESP, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal. Obtendo o título de mestre em março de 2010, quando ingressou em uma nova etapa profissional na empresa Basf, trabalhando como representante técnico de vendas (RTV).

SUMÁRIO

	Pagina
RESUMO.....	iii
ABSTRACT.....	iv
CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS	
1. Introdução.....	1
2. Literatura citada.....	5
CAPÍTULO 2 - EFEITO DAS CINZAS DE CALDEIRA DE INDÚSTRIA DE CONCENTRADOS CÍTRICOS NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS E BIOLÓGICAS DE UM SOLO DEGRADADO	
Resumo.....	7
Abstract.....	8
1. Introdução.....	9
2. Material e métodos.....	10
3. Resultados e discussão.....	13
4. Literatura citada.....	18
CAPÍTULO 3 – EFEITO DA APLICAÇÃO DE CINZAS DE CALDEIRA SOBRE AS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS E BIOLÓGICAS DE UM SOLO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR.	
Resumo.....	21
Abstract.....	22
1. Introdução.....	23
2. Material e métodos.....	25
3. Resultados e discussão.....	27
4. Literatura citada.....	34
5. Conclusões.....	36

RESUMO - A utilização de subprodutos, ao invés de seus descartes, tem sido uma das principais estratégias para o aumento da sustentabilidade da produção agroindustrial. Em grande parte do Estado de São Paulo, as culturas da cana-de-açúcar e de citros convivem ocupando grandes áreas agrícolas e produzindo grandes quantidades de resíduos devido aos seus processamentos industriais. O objetivo do presente trabalho foi avaliar os efeitos da aplicação de 0, 20, 40, 60, 80 e 100 t.ha⁻¹ de cinza de caldeira proveniente da queima de bagaço de cana-de-açúcar de uma indústria de concentrados de frutas cítricas sobre a atividade heterotrófica global e as principais características físico-químicas utilizadas para recomendação de adubação e correção da acidez de solos agrícolas. Um primeiro ensaio foi realizado em condições controladas de casa de vegetação utilizando sub-solo coletado em Latossolo Vermelho Escuro, textura arenosa e os tratamentos dispostos em delineamento experimental inteiramente casualizado com quatro repetições. O solo foi incubado pelo período de 40 dias em temperatura de 25 °C e umidade do solo variando entre 50-70% de poder de embebição. A atividade heterotrófica global foi incrementada pela adição da cinza de caldeira. A adição da cinza de caldeira também promoveu aumento do pH, dos teores de fósforo, cálcio e magnésio e dos valores da soma e saturação de bases, além de reduzir a acidez potencial. Em um segundo ensaio, realizado em condições de campo, a atividade heterotrófica global apresentou aumento proporcional ao aumento da dose de cinza aplicada aos 30 dias após a deposição, mas nenhum efeito significativo foi observado aos 90 dias. A adição de cinzas promoveu o aumento do teor de fósforo e potássio e diminuição da acidez potencial. Os resultados mostram que a utilização de cinza de caldeira proveniente da queima do bagaço da cana-de-açúcar não promoveu qualquer desequilíbrio que reduzisse a atividade heterotrófica global do solo e que pode ser utilizado na adubação do solo aumentando a sustentabilidade do solo.

Palavras chave: cinza de caldeira, resíduo sólido, fertilidade do solo

ABSTRACT - The alternative use of residues has been one of the main strategies in the improvement of the sustainability in agro industry production. In the major parts of São Paulo State, the sugar-cane and citrus crops and its respective agro industries are sympatric and the mutual use of residues has been a very important regional strategy aiming the sustainability. So, the objectives of this work were to evaluate the effects of the application of 0, 20, 40, 60, 80 e 100 t.ha⁻¹ of sugar-cane boiler bagasse ash produced as residue in a factory of concentrate citrus juice on the soil heterotrophic activity and soil characteristics used for fertilization and liming in agriculture. A first essays was carried out under green-house conditions using sub-soil collected in a sandy Latossol Vermelho Escuro and the ash doses were incorporated in the soli and incubated for 40 days under 25 °C and soil moisture varying between 50-70% of the soil imbibitions capacity. The soil heterotrophic activity was increased by the ash incorporation. The addition of the ash increased the soil pH, the contents of phosphorus, potassium, calcium, magnesium and the values of the bases sum and saturation, but reduced the potential acidity and did not affected the soil contents of organic matter and sodium. In a second essay, conducted under field conditions on a sugar-cane crop area, the soil heterotrophic activity increased as the boiler ash dose was raised, at 30 days after the disposal, but no effects were observed at the 90th days. The soil ash disposal increased the increase of phosphorus and potassium contents and reduced the potential acidity of the soil. The results showed that the use of of sugar-cane boiler bagasse ash produced as residue in a factory of concentrate citrus juice did not affected the heterotrophic activity in the soil and can be used as substitute of certain plant nutrients, specially phosphorus, potassium and liming contributing to the system sustainability.

Key-words: environmental passive, solid residue, soil fertility

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

Historicamente a agricultura teve uma visão reducionista para a produção de alimentos, fibras, e, mais recentemente, combustíveis, matérias primas para plásticos, fármacos e outros produtos. Em inúmeras regiões, este tipo de visão levou à concentração de culturas e à monocultura, simplificando expressivamente os sistemas de produção, escoamento ou processamento da safra. No entanto, também ocorreu grande redução da diversidade biológica, da proteção do solo contra o processo erosivo, contra as intempéries climáticas e passou a ocorrer grandes fluxos de crescimento de organismos indesejáveis à produção agrícola, as pragas, moléstias e plantas invasoras. A migração da população rural para os centros urbanos ocorreu em velocidade e intensidade maiores que a infra-estrutura e a oferta de trabalho das cidades pudessem absorvê-la. Paulatinamente a degradação social e ambiental foi se instalando, chegando a níveis insuportáveis em determinadas regiões.

No final do século 20, a preocupação com esta situação passou a constar a agenda dos governantes e culminou com a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (Eco-92), que ocorreu no Rio de Janeiro em 1992, a qual consagrou o desenvolvimento sustentável. O desenvolvimento sustentável passou a constar da pauta de discussões políticas, eventos científicos e das empresas privadas. É importante salientar que a Eco-92 não só considerou a agricultura, mas também destruição de habitat para expansão urbana e industrial, atividade da indústria, poluição ambiental e muitas outras atividades que se inseriam no desequilíbrio social, ambiental, econômico e cultural.

A sustentabilidade é um conceito sistêmico relacionado com as continuidades dos aspectos econômicos, sociais, culturais e ambientais da sociedade humana. Uma definição interessante de sustentabilidade é a estratégia para que uma geração possa suprir suas necessidade sem comprometer a possibilidade de futuras gerações suprirem as suas. Assim para um empreendimento humano ser sustentável tem de ser ecologicamente correto, economicamente viável, socialmente justo e culturalmente aceito.

A sustentabilidade agrícola ou a agricultura sustentável também começou com a visão reducionista de que este processo apenas seria possível em pequenas propriedades rurais, onde o homem pudesse diversificar suas atividades, cada uma utilizando sub-produtos ou resíduos das outras e que a justiça social se estabeleceria pela posse da terra por um maior número de pessoas possível. Outro aspecto reducionista é o de que a sustentabilidade se estabeleceria dentro dos limites de cada propriedade e não se pensava ao nível de bacia hidrográfica.

Mais tarde, com o amadurecimento do conceito de sustentabilidade global, houve profundas alterações na percepção pública e das autoridades quanto ao conceito. Talvez um dos mais importantes visões nesta alteração de abordagem é a de que a agricultura e a agroindústria fazem parte de um mesmo sistema e podem atuar juntos na conservação de recursos dentro da mesma área geográfica e reduzir a dependência de recursos externos.

As áreas de produção de cana-de-açúcar se destacaram neste conceito mais amplo de sustentabilidade. O bagaço foi desenvolvido como volumoso para criação de bovinos no sistema confinado. Posteriormente também passou a ser utilizado como fonte de energia para a usina, diminuindo a dependência do fornecimento de energia hidrelétrica. A vinhaça passou a ser aplicada como fertilizante e devolver grande parte de nutrientes que havia sido exportada com a colheita de colmo. A torta de filtro também constitui um fertilizante orgânico bastante importante e, juntamente com a vinhaça, reduz a necessidade de importação de nutrientes na forma adubos químicos. A própria água de lavagem das instalações industriais é utilizada na irrigação. Mais recentemente, o corte da cana-crua passou a dar sustentabilidade maior ambiental.

A queima do bagaço de cana para produção de energia produz outro resíduo importante que é a cinza de caldeira. A geração de energia nas usinas de açúcar e álcool tem resultado na produção de 20 a 30 kW.h⁻¹ por tonelada de colmos de cana moído (PORTAL ÚNICA, 2009). Segundo MALAVOLTA (2001), uma tonelada de cana gera 550 Kg de bagaço e 16,5 kg de cinzas. Segundo a União da Agroindústria Canavieira de São Paulo, na safra 2002/2003, foram processados cerca de 191,67 milhões de toneladas de cana, produzindo 63,3 milhões de toneladas de bagaço, ou

seja, 330 Kg.t^{-1} , que gerou 2 milhões de toneladas de cinza, numa proporção de 10, 4 330 Kg.t^{-1} de cana processada. Utilizando este dados é possível inferir que a safra 2008/09 deverá ser da ordem de 498,1 milhões de toneladas. (www.agrosoft.org.br/agropaq/100616.htm, acesso em 21 de janeiro de 2010), que produzirá 164,4 milhões de toneladas de bagaço, com potencial de produção de 51,8 milhões de toneladas de cinza de caldeira.

A cinza de caldeira, portanto, constitui um resíduo da agroindústria sucroalcooleira produzido em grandes quantidades e que é bastante rico em nutrientes e sílica e não contém quantidades consideráveis de metais pesados. O destino da cinza de caldeira tem sido o solo, muitas vezes utilizado como simples material de descarte (FREITAS, 2005) ou na construção civil, devido sua propriedade pozolânica (DAFICO et al., 2003). A propriedade fundamental de um material pozolânico é a capacidade de se combinar com a cal livre do cimento (hidróxido de cálcio). BRUNELLI & PISANI (2006) comentam que a disposição da cinza de caldeira como material de descarte em áreas agrícolas não é autorizada pelas agências ambientais do Brasil e destacam que há necessidade de estudos que subsidiem as decisões referentes às autorizações do uso agrícola deste resíduo.

Segundo FEITOSA et al. (2009), as cinzas de caldeira de bagaço de cana-de-açúcar, por apresentarem quantidades consideráveis de nutrientes de plantas, podem ser aproveitadas em solos de baixa fertilidade natural, melhorando as suas características físico-químicas. BRUNELLI & PISANI Jr. (2006) ponderam que a utilização da cinza na agricultura é ecologicamente viável e economicamente interessante, pois uma vez incorporado ao solo melhora sua capacidade de retenção de umidade, corrige parcialmente a acidez e proporciona melhoria ao crescimento das culturas.

A composição química da cinza de caldeira gerada pela queima de bagaço de cana-de-açúcar foi avaliada por BRUNELLI & PISANI (2006) que observaram valores de 0,3% de nitrogênio, 4,9% de carbono orgânico, 0,1% de fósforo, 0,64% de potássio, 0,2% de cálcio, 0,1% de magnésio e 0,01% de enxofre. Os teores de micronutrientes e metais pesados forma respectivamente 0,0025% de cobre, 0,6% de ferro, 0,027% de

manganês, 0,0009% de zinco, 0,02% de boro, 0,02% de sódio, 0,001% de cobalto, 0,0001% de alumínio, 0,0001 % de níquel e molibdênio. As concentrações de cádmio, arsênico, mercúrio, cromo, chumbo e selênio estavam abaixo do nível de detecção do método analítico empregado. A cinza de caldeira ainda apresentou valores de pH (água 1:1) de 10,2 e poder de neutralização da ordem de 5,46% Eq. CaCO_3 . Os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos na cinza de caldeira eram constituídos em sua grande maioria de naftaleno (71,8%), acenaftileno (14,4%) e fenantreno (6,8%), todos de baixo peso molecular e baixa persistência no ambiente.

GLORIA et al (1993) reportaram que a cinza de caldeira proveniente da queima de bagaço de cana-de-açúcar contém 28,1% de carbono orgânico, 0,7% de P_2O_5 , 2,1% de K_2O , 0,74% de cálcio, 0,35% de magnésio e 49,5% de SiO_2 . Estes valores são muito diferentes daqueles apresentados pelos primeiros autores.

Uma vez considerada a possibilidade do uso da cinza de caldeira na agricultura, sua utilização na construção civil é altamente indesejada num processo de sustentabilidade. Na argamassa de construções civis grandes quantidades de nutrientes são deslocadas dos ciclos biogeoquímicos naturais e ficam ecologicamente imobilizados. O destino da cinza de caldeira de cana-de-açúcar deve ser o retorno para o solo do qual foi extraído no crescimento da gramínea. Numa visão holística, a sustentabilidade deve ser considerada ao nível da bacia hidrográfica e não de local específico da retirada dos nutrientes.

BRUNELLI et al. (2009) observaram que as cinzas de caldeira provenientes da queima do bagaço da cana-de-açúcar incorporadas ao solo promoveram incrementos nos valores de pH, nos teores de Ca e K e da soma de bases de um Latossol Vermelho Amarelo, textura arenosa. Os teores de K no solo foram superiores aos verificados para a adubação química recomendada para o milho, indicando que as cinzas podem ser eficiente fonte de potássio. FERREIRA et al. (2000) justificam o efeito das cinzas sobre o pH pela formação de carbonato de cálcio resultante de sua reação com o solo.

FEITOSA et al. (2009) também observaram que a cinza de caldeira de bagaço de cana-de-açúcar pode ser aplicada pouco antes da semeadura do milho, não sendo necessária a observância de um período de incubação.

Em grande parte do Estado de São Paulo as culturas da cana-de-açúcar e do citros convivem na mesma área geográfica e em um processo de sustentabilidade holística devem integrar um mesmo sistema de reciclagem de nutrientes e energia. Assim, fábricas de produção de concentrados de frutas cítricas utilizam bagaço de cana-de-açúcar na produção de energia e também produzem cinzas de caldeira. A cinza de caldeira produzida na indústria de concentrados de frutas cítricas é umedecida com água de lavagem das moendas e outros equipamentos de processamento das frutas e do seu suco. Nesta água de lavagem estão presentes pequenos fragmentos das frutas cítricas e de hipoclorito de sódio utilizado como agente sanitário.

A utilização desta cinza de caldeira em solo agricultura tem levantado questionamento de entidades regulatórias de meio ambiente com relação ao balanço dos efeitos potencialmente benéficos ou prejudiciais às propriedades químicas, físicas e biológicas do solo e em que condição (dose, tipo de solo e outras) este material é benéfico ao solo e às plantas.

Assim, o presente trabalho foi elaborado e conduzido visando fornecer subsídios para uma completa análise de risco/benefício que seriam considerados como partes de programas de sustentabilidade agrícola e teve por objetivos: avaliar os efeitos de doses crescentes de cinza de caldeira de fábrica de concentrados de frutas cítricas sobre algumas características físico-químicas e biológicas de um solo degradado e de um solo cultivado com cana-de-açúcar.

BIBLIOGRAFIA

BRUNELLI, A. M. M. P. & PISANI JUNIOR, R. Proposta de disposição de resíduo gerado a partir da queima de bagaço de cana em caldeiras como fonte de nutriente e corretivo de solo. In: CONGRESO IBEROAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, 30º, Punta Del Este, 2006. **Anais**, 2006, p. 1-9

DAFICO, D. A. Métodos de produção de cinza de casca de arroz para utilização em concretos de alto desempenho. 2003. Disponível em http://www2.ucg.br/nupenge/pdf/Dario_Resumo.pdf, acesso em 10/10/2009.

FEITOSA, D. G.; MALTONI, K. L. & SILVA, I. P. F. Avaliação da cinza oriunda da queima do bagaço da cana-de-açúcar na substituição da adubação química convencional para produção de alimentos e preservação do meio ambiente. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 04. n. 02, p. 2412-2415, 2009.

FERREIRA, T. N.; SCHWARTZ, R. A.; STECH, E. .V. (Coord.) **Solos: Manejo Integrado e Ecológico. Elementos básicos**. Porto Alegre, Editora da EMATER/RS, 2000. 95 p.

FREITAS, E.S. Caracterização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar no município de Campos dos Goytacazes para uso na construção civil. Campos do Goyatacezes, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2005. **Dissertação de Mestrado**, 81 p.

GLÓRIA, N. A.; MATTIAZZO, M. E. & MORAES, C. J. Avaliação da fuligem como fonte de potássio e fósforo para vegetais. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 5º, Águas de São Pedro, 1993. **Anais**, p 13-16.

MALAVOLTA, E. **Sobre a utilização agrícola do resíduo de cinza de caldeira**, CNA - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP, In: *Parecer para Cargill Citrus Ltda*, Piracicaba, 2001, 17 p.

PORTAL AGROSOFT. **Estimativas de produção da safra de cana-de-açúcar.**
www.agrosoft.org.br/agropaq/100616.htm, acesso em 21 de janeiro de 2010

PORTAL ÚNICA, **Avaliação da safra da cana-de-açúcar na região Centro-Sul do país.** Disponível em <http://www.portalunica.com.br>, acesso em 17 de abril de 2009 por Feitosa et. al. (2009).

CAPÍTULO 2 - EFEITO DAS CINZAS DE CALDEIRA DE INDÚSTRIA DE CONCENTRADOS CÍTRICOS NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS E BIOLÓGICAS DE UM SOLO DEGRADADO.

RESUMO - O resíduo da agroindústria há algum tempo deixou de ser considerado como passivo ambiental e de acordo com suas características químicas, físicas e biológicas pode sofrer várias destinações, incluindo o uso na própria agricultura, como forma de reposição de nutrientes e como condicionador das características do solo. O presente trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar os efeitos de incorporação de cinza de caldeira de indústria de concentrado de frutas cítricas sobre algumas características químicas e biológicas de solo degradado. Para tanto, foi conduzido um ensaio em laboratório para avaliação da atividade heterotrófica global e um de casa de vegetação para avaliação dos efeitos da cinza de caldeira sobre as principais características químicas do solo. Ambos os ensaios foram instalados no delineamento experimental inteiramente casualizado com quatro repetições e os tratamentos constaram das incorporações de 0, 20, 40, 60, 80 e 100 t.ha⁻¹ de cinza de caldeira. No laboratório foi realizado estudo comparativo da adição da cinza de caldeira sobre atividade heterotrófica global da material do solo inferida pela evolução de CO₂ em condições de incubação, no escuro, sob temperatura de 25 °C. A adição de cinza de caldeira aumentou a atividade heterotrófica global do material do solo sendo proporcional à dose de incorporação, provavelmente devido à água de lavagem das moendas utilizada no umedecimento da cinza para transporte. Além disso, promoveu aumento no pH, nos teores de fósforo, cálcio e magnésio e nos valores da soma e saturação de bases, além de reduzir a acidez potencial. Não foram observados efeitos na concentração de matéria orgânica e de sódio da material do solo.

Palavras -chave: cinza de caldeira, resíduo sólido, fertilidade do solo

**EFFECTS OF SOIL INCORPORATION OF SUGAR-CANE BAGASSE ASH
PRODUCED BY A FACTORY OFD CONCENTRATED ORANGE JUICE ON SOME A
DEGRADED SOIL CHARACTERISTICS.**

ABSTRACT - The agro industry residues no longer is considered as a environmental passive and according its physical, chemical and biological features can be useful in many ways, including reposing nutrients up took by the crops and conditioning the soil properties for better crop growth and productivity. This study was carried out aiming to evaluate the effects of soil incorporation of ash produced by the burning of sugar-cane bagasse for energy production in a factory of orange juice concentrates. So, in a completely randomized experiment with four replications, the doses of 0, 20, 40, 60, 80, and 100 t.ha⁻¹ of ash were incorporated in a degraded soil (Latosol Vermelho Escuro, distrofico) and incubated for 30 days under dark conditions at 25 °C. During this period the heterotrophic soil activity was evaluated every two days. The soil CO₂ evolution increased as the ash doses were increased, probably due to residues of orange bagasse in the machinery wash water used to wetting the ash for truck transportation. The ash incorporation promoted increase in the soil pH, bases sum, cation exchange capacity and the soil contents of phosphorus, potassium, calcium and magnesium. There were no observed effects on the contents of organic matter and sodium in the soil, but the potential acidity was reduced by the soil incorporation of the ash.

Key-words: environmental passive, solid residue, soil fertility

INTRODUÇÃO

Um dos maiores impactos causados pela ocupação dos ambientes naturais pelo homem é a degradação do solo. Segundo a FAO (1978), a degradação do solo é a diminuição da capacidade atual ou potencial do solo de produzir (quantitativamente ou qualitativamente) produtos e serviços, como resultados de um ou mais processos degradantes.

Uma característica marcante do homem é a capacidade de produzir resíduos em suas atividades domésticas, agrícolas e industriais. Estes resíduos até pouco tempo eram considerados “lixo” e descartado em locais de pouco interesse humano para a época. Com o tempo, a atividade humana foi adquirindo grande magnitude e os resíduos passaram a influenciar decisivamente na qualidade ambiental e saúde humana, adquirindo status de poluentes, e como são mais propriamente chamados: passivos ambientais. A questão dos resíduos, tanto líquidos como sólidos, passou a ser o centro de preocupações e de uma série de discussões da comunidade científica, industriais, políticos, enfim, toda a sociedade.

Uma importante utilização para os resíduos é na recuperação de solos degradados, geralmente pobres em matéria orgânica e nutrientes em geral e/ou com elevados níveis de elementos tóxicos. Esta é uma grande oportunidade de converter o resíduo da condição de passivo para a de benefício ambiental.

A adição de resíduos orgânicos tem sido utilizada com sucesso na recuperação dessas áreas degradadas. Trabalho desenvolvido por SIMONETE et al. (2003) mostrou que a adição de lodo de esgoto em um Argissolo degradado promoveu aumento nos teores de matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre e na CTC, com redução nos valores da acidez. LOGAN et al. (1997), também observaram redução da acidez do solo com adição do lodo de esgoto.

Em algumas indústrias de concentrados de frutas cítricas, o bagacilho da cana-de-açúcar é utilizado como combustível em caldeira, gerando um resíduo conhecido como cinza de caldeira. Segundo MALAVOLTA (2001), uma tonelada de cana gera 550 Kg de bagaço e 16,5 kg de cinzas. SCOTTI et al. (1999) pondera que a cinza de

caldeira é capaz de suprir o solo com apreciáveis quantidades de sódio, magnésio, enxofre, fósforo, potássio, ferro, manganês, zinco e cobre.

SINGH et al. (2002) observaram aumento na eficiência do uso da água e na produtividade da cultura de trigo quando adicionado cinzas. MITTRA et al. (2005) observaram que a aplicação de cinza de carvão promoveu incremento nos teores de fósforo, potássio, cálcio, cobre, zinco e cobalto em plantas de arroz e amendoim, além de promover melhorias nas propriedades físicas e químicas do solo.

As cinzas, de modo geral, além dos nutrientes que possuem em sua composição química, também possuem bases que servem para neutralizar a acidez do solo, também funcionando como corretivo, cujos efeitos podem diferir dependendo do tipo de solo (SANTOS et al., 1995; PRADO et al., 2002).

Dessa forma, o presente trabalho teve por objetivo testar a hipótese de que a adição ao solo da cinza de caldeira produzida por queima de bagacilho de cana-de-açúcar em indústria de concentrado de frutas cítricas altera as propriedades químicas e biológicas de um solo degradado.

MATERIAL E MÉTODOS

O material do solo utilizada na condição do presente experimento foi coletado em área de barranco, na profundidade de 1,5 a 1,8 metros, nas obras de duplicação da Rodovia Faria Lima, próximo do município de Taiúva, SP. Esta camada de solo normalmente é pobre em nutrientes e pode simular um solo degradado. O material do solo foi levado para o Laboratório Giorgio De Marinis do Núcleo de Estudos e Pesquisas Ambientais em Matologia (Nepeam) da Unesp Jaboticabal, onde foi seco à sombra e peneirada.

Em seguida foi calculada a capacidade de campo do material do solo enriquecido com as diferentes quantidades de cinza de caldeira (0, 20, 30, 40, 60, 80 e 100 t.ha⁻¹) que foram estudadas no experimento. O poder de embebição do solo foi determinado por gravimetria, utilizando-se amostras de 25 gramas de solo (TFSA)

dispostas em cadinhos de perfurados no fundo e saturadas em água pela imersão suficiente para atingir $\frac{3}{4}$ da altura da material do solo no cadinho. O tempo deixado para a saturação do solo foi de 24 horas. Após este período, os cadinhos foram transferidos para o interior de frascos de vidros, sobre placas perfuradas para escoamento da água gravitacional, os frascos de vidro foram cobertos para evitar perda água por evaporação. O escoamento da água gravitacional também foi deixado por 24 horas. O poder de embebição foi calculado pela comparação entre os pesos do solo antes da embebição e depois do escoamento da água gravitacional. Não houve diferença estatística entre os valores obtidos para a material do solo com diferentes quantidades de cinza e o valor obtido para o solo foi de 36,8%. Assim, em todos os tratamentos foi utilizado este valor para orientação da irrigação.

As quantidades de cinza de caldeira incorporadas ao solo avaliadas foram 0, 20, 40, 60, 80 e 100 t.ha⁻¹, constituindo os tratamentos experimentais. Os experimentos conduzidos foram instalados no delineamento experimental inteiramente casualizado com quatro repetições. Para os cálculos das quantidades de cinza de caldeira por unidade de material do solo para incorporação nos diferentes tratamentos experimentais considerou-se uma profundidade de 0,15 m. Assim, estipulou-se que a quantidade por hectare seria incorporada em 1500 m³ de solo. Na Tabela 01 está apresentada a composição química da cinza de caldeira utilizada no presente experimento.

Tabela 01 – Teores de íons na cinza de caldeira proveniente da queima de bagaço de cana-de-açúcar em caldeiras de indústria de concentrados de frutas cítricas.

Elemento	Concentração	Elemento	Concentração
N	0,9 g.Kg ⁻¹	Na	1,3 g.Kg ⁻¹
P	1,0 g.Kg ⁻¹	Cu	34,0 mg.Kg ⁻¹
K	8,1 g.Kg ⁻¹	Fe	22,82 g.Kg ⁻¹
Ca	5,4 g.Kg ⁻¹	Mn	401,0 mg.Kg ⁻¹
Mg	2,9 g.Kg ⁻¹	Zn	54,0 mg.Kg ⁻¹
S	0,9 g.Kg ⁻¹		

Para avaliação da atividade heterotrófica global, alíquotas de 200 g da material do solo receberam quantidades crescentes de cinza e foram analisadas quanto à evolução de CO₂ decorrente da respiração da microbiota. Para tanto, as alíquotas de solo com as respectivas quantidades de cinza de caldeira (correspondente a cada tratamento) foram acomodadas em frascos de vidro transparentes com volume de dois litros e irrigadas com quantidades de água suficiente para atingir 70% do poder de embebição. Sobre as amostras de solo foram colocados dois frascos de vidro, um contendo 20 mL de água e outro contendo 20 mL de NaOH (1 mol/L) para recrutamento do CO₂ liberado pela atividade heterotrófica global material do solo. Os frascos foram hermeticamente fechados para impedir as trocas gasosas e incubados a 25±1 °C, no escuro.

As avaliações foram realizadas a cada 48 horas. Em cada avaliação, o NaOH foi retirado do copinho, transferido para um béquer de 50 mL e adicionado de 5 mL de solução aquosa de BaCl₂ (cloreto de bário) para a precipitação do Na₂CO₃ formado. Em seguida foram adicionadas de duas a três gotas de solução aquosa de fenolftaleína como indicador do ponto de viragem e procedeu-se a titulometria com HCl 0,65 N.

A fórmula utilizada para a estimativa da quantidade de CO₂ seqüestrado pela solução de CO₂ foi:

$$C = ((B - V) * N * E) / (Q)$$

Onde:

C = mg de CO₂ por kg de solo

B = volume de HCl gasto na titulação do controle (branco)

V = volume de HCl gasto na titulação das amostras expostas ao solo

N = normalidade do HCl (0,65 N)

E = equivalente grama do C (6 g)

Q = quantidade de solo utilizada em cada vidro (0,2 kg)

Para avaliação dos efeitos sobre as características químicas do solo, foram utilizados vasos plásticos de 2,5 L. Os vasos foram distribuídos no delineamento

experimental inteiramente casualizado com quatro repetições e os tratamentos constaram das incorporações das quantidades de cinza de caldeira correspondentes a 0, 20, 40, 60, 80 e 100 t.ha⁻¹. As quantidades de cinza de caldeira correspondentes a cada tratamento foram incorporadas nas alíquotas de solo e incubadas em condições de casa de vegetação por um período de 40 dias, na umidade de 70% do poder de embebição da material do solo.

Ao término do período de incubação, o conteúdo de cada vaso foi seco a sombra e, após homogeneização, uma amostra foi enviada para análise química no Laboratório de Fertilidade do Solo da Unesp, Jaboticabal. As análises foram realizadas seguindo os procedimentos descritos por RAIJ et al. (1987).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 estão apresentados os valores acumulativos da atividade heterotrófica global da material do solo enriquecida com quantidades crescentes de cinza de caldeira, os respectivos resultados da análise de variância e a comparação de médias pelo teste de Tukey. Até os 12 dias de incubação, a atividade heterotrófica global do solo não foi afetada significativamente pela incorporação das diferentes doses de cinza de caldeira. Aos 14 dias de incubação, a quantidade cumulativa de CO₂ liberado pelo material do solo que recebeu o equivalente a 100 t.ha⁻¹ foi estatisticamente superior à testemunha sem incorporação de cinza. Aos 16 dias de incubação, esta superioridade estatística em relação à testemunha foi estendida aos tratamentos com 40 e 60 t.ha⁻¹. Entre 18 e 24 dias de incubação, as atividades heterotróficas globais nos tratamentos que receberam cinza de caldeira não diferiram estatisticamente entre si e todas foram estatisticamente superiores à testemunha sem incorporação.

A partir dos 26 dias de incubação ocorreram diferenças estatísticas entre os valores observados nos tratamentos que receberam cinza de caldeira e todos continuavam estatisticamente superiores à testemunha. Aos 26 e 28 dias de incubação,

a atividade heterotrófica global da material do solo no tratamento que recebeu 40 t.ha⁻¹ foi estatisticamente inferior ao que recebeu 100 t.ha⁻¹. Esta diferença estatística em relação à maior dose se estendeu ao tratamento com 20 t.ha⁻¹, aos 30 dias. A material do solo que recebeu 40 t.ha⁻¹ produziu menor quantidade de CO₂ que as que receberam as três maiores doses.

Tabela 02. Médias dos valores estimados da evolução de CO₂ em amostras de solo degradado enriquecido com quantidades crescentes de cinza de caldeira.

Dose (t/ha)	Tempo de incubação				
	2 dias	4 dias	6 dias	8 dias	10 dias
	mg/kg de solo				
0	16,64 a	21,32 a	23,40 a	26,71 a	28,40 a
20	17,16 a	24,96 a	27,56 a	32,24 a	35,36 a
40	17,16 a	23,00 a	26,64 a	34,96 a	38,60 a
60	13,52 a	21,24 a	26,81 a	32,53 a	35,65 a
80	13,52 a	19,76 a	24,96 a	29,64 a	32,76 a
100	17,16 a	23,92 a	31,20 a	35,88 a	41,08 a
F	0,79	0,43	0,59	0,86	1,73
P	0,574	0,820	0,707	0,532	0,202
Dose (t/ha)	12 dias	14 dias	16 dias	18 dias	20 dias
	mg/kg de solo				
0	30,02 a	32,39 b	33,49 b	35,05 b	36,13 b
20	37,31 a	39,91 ab	43,03 ab	48,87 a	54,59 a
40	42,24 a	45,18 ab	47,26 a	49,86 a	53,33 a
60	39,81 a	44,17 ab	48,33 a	51,97 a	55,61 a
80	37,44 a	42,12 ab	46,28 ab	49,92 a	56,16 a
100	44,20 a	48,88 a	52,00 a	55,12 a	60,32 a
F	2,27	3,65	5,07	6,94	11,45
P	0,114	0,031	0,010	0,003	<0,001
Dose (t/ha)	22 dias	24 dias	26 dias	28 dias	30 dias
	mg/kg de solo				
0	38,477 b	41,60 b	43,02 c	45,28 c	46,91 d
20	57,74 a	59,63 a	62,75 ab	67,43 ab	69,62 bc
40	54,54 a	56,62 a	59,74 b	62,34 b	67,02 c
60	60,29 a	63,41 a	67,05 ab	69,65 ab	76,41 abc
80	59,28 a	62,40 a	67,60 ab	71,76 ab	80,08 ab
100	66,04 a	70,20 a	73,84 a	77,48 a	84,24 a
F	12,74	10,42	15,76	13,66	27,12
P	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

Teoricamente, a cinza de caldeira teria pouca possibilidade de incrementar a atividade heterotrófica global da terra pela ausência de carbono orgânico. No entanto, a cinza de caldeira produzida na indústria de concentrados de frutas cítricas é umedecida com efluente líquido para evitar o carregamento pelo vento durante o transporte ao campo. Este efluente é constituído pela água de lavagem das máquinas de moagem e carrega resíduos de suco e de bagaço de laranja. Esta é a possível explicação para o aumento da evolução de CO₂ nas amostras de material do solo que receberam quantidades crescentes da cinza.

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados referentes às análises químicas de solo degradado após 40 dias de incubação com diferentes quantidades de cinza de caldeira da indústria de concentrados de frutas cítricas, proveniente da queima de bagacilho de cana-de-açúcar e umedecido com efluente líquido da água de lavagem do sistema de moagem. Não foram observados efeitos significativos da adição de cinza de caldeira sobre os teores de matéria orgânica e de sódio no solo.

O teor de fósforo no material do solo sofreu um aumento expressivo proporcional à dose aplicada. As elevações dos teores de fósforo no solo foram de 50%, 125%, 175%, 225% e 425% respectivamente pela adição das doses de 20 t.ha⁻¹ à 100 t.ha⁻¹. A relação entre a dose de cinza de caldeira e a concentração de fósforo no material do solo obedeceu uma equação sigmoideal ($R^2=0,98$, Quadro 1). Este aumento é esperado porque a presença de fósforo na cinza (Tabela 1), pode permitir que a adição de 100 t.ha⁻¹ deste resíduo adicione a quantidade equivalente a 972 Kg ha⁻¹ de superfosfato simples.

Como havia sido observado por CAMARGO et al. (1984), no presente trabalho também foi observado efeito crescente da quantidade de cinza de caldeira sobre o pH do solo. A análise de correlação não linear entre a dose de cinza e o pH do material do solo obedeceu à tendência sigmoideal, mas com forte componente linear no segmento de doses avaliadas ($R^2=0,98$).

O teor de potássio no solo foi aumentado de forma linear ($R^2=0,99$, Quadro 1) na material do solo na medida em que foi incrementada a dose de cinza de caldeira. O teste de Tukey acusou diferença estatisticamente significativa entre os valores

observados para todas as doses incorporadas. Segundo BUEDO (1965), RIGAU (1960) e MALAVOLTA (1967), entre as substâncias solúveis encontradas na cinza, a predominante é o carbonato de potássio, sendo responsável por mais de metade das substâncias solúveis.

Tabela 3. Características químicas do solo de degradado após 40 dias com quantidades crescentes de cinza de caldeira da indústria de concentrado de frutas cítricas.

Dose t/ha	P resina mg/dm ³	M.O. g/dm ³	pH CaCl ₂	K mmol _c /dm ³
0	1,00 e	4,75 a	5,50 f	0,20 f
20	1,50de	5,00 a	5,70 e	0,90 e
40	2,25 cd	5,00 a	5,88 d	1,98 d
60	2,75 bc	4,50 a	6,03 c	2,65 c
80	3,25 b	4,50 a	6,15 b	3,35 b
100	5,25 a	5,00 a	6,30 a	4,43 a
Dose t/ha	Ca	Mg	H + Al	SB
	-----mmol _c /dm ³ -----			
0	3,00 d	1,00 d	15,75 a	4,20 e
20	3,50 cd	2,00 c	15,25 ab	6,40 d
40	4,25 b	2,25 bc	14,25 b	8,48 c
60	3,75 bc	2,50 b	13,00 c	8,90 c
80	4,00 bc	3,00 a	12,50 c	10,35 b
100	5,25 a	3,00 a	12,00 c	12,68 a
Dose (t/ha)	CTC mmol _c /dm ³	V %	Na mmol _c /dm ³	
0	19,95 c	21,06 e	0,95 a	
20	21,65 b	29,53 d	0,85 a	
40	22,73 b	37,26 c	0,73 a	
60	21,90 b	40,54 c	1,20 a	
80	22,85 b	45,31 b	1,10 a	
100	24,68 a	51,35 a	1,00 a	

Para o cálcio, o ajuste linear não foi tão expressivo quanto para o potássio ($R^2 = 0,85$, Quadro 1). O Teste de Tukey (Tabela 3) mostra que apenas houve um aumento expressivo da concentração de cálcio na dose mais elevada de cinza de caldeira. Entre as doses de 20 t.ha⁻¹ a 80 t.ha⁻¹ a variação do teor deste elemento não mostrou

tendência consistente. O teor de magnésio obedeceu uma tendência sigmoideal ($R^2=0,97$, Tabela 1), com respostas mais expressivas nas doses mais baixas e tendendo à estabilidade nas doses mais elevadas. Nas doses de 80 e 100 t.ha⁻¹ os valores da concentração de magnésio foram similares, o mesmo ocorreu entre as doses de 40 e 60 t.ha⁻¹. Houve diferença estatística entre os valores observados para as doses de 0, 20 e 40 t.ha⁻¹.

A acidez potencial do solo (concentração de H+Al) foi reduzida pela adição da cinza de caldeira numa relação com tendência sigmoideal com forte componente linear ($R^2+0,99$, Quadro 1). Houve diferença estatística entre a dose de 40 t.ha⁻¹ e a testemunha sem incorporação de cinza. As três maiores doses produziram valores de H+Al estatisticamente similares e inferiores às doses mais baixas, caracterizando a tendência de estabilidade nas doses mais elevadas. Enquanto para os elementos adicionados, a explicação é direta, a acidez potencial foi reduzida pela adição de bases, especialmente o cálcio e o magnésio.

Os valores da soma e da saturação de bases apresentaram comportamentos estatisticamente similares frente ao teste de comparação de médias. Houve diferença estatisticamente significativa entre todos os tratamentos, exceto na comparação das médias dos tratamentos com 40 t.ha⁻¹ e 60 t.ha⁻¹. É importante considerar que a capacidade de troca catiônica da material do solo praticamente não foi afetada pela adição da cinza de caldeira, não ocorrendo diferença estatística entre todas as doses de 20 t.ha⁻¹ a 80 t.ha⁻¹ e apenas um leve incremento na dose de 100 t.ha⁻¹. Este resultado é esperado uma vez que a cinza de caldeira não adicionou qualquer componente com atividade de carga, como a matéria orgânica. Assim, a grande elevação da saturação de bases, atingindo 51,35%, não representa muito, pois a capacidade de troca catiônica é de pequeno valor. De acordo com DAROLT et al. (1993), as cinzas apresentam efeito corretivo e fertilizante quando aplicados ao solo.

A relação entre a quantidade de cinza de caldeira adicionada ao solo e o valor da soma de bases obedeceu a tendência linear ($R^2=0,98$, Quadro 1), mostrando a grande influência do potássio na manifestação desta característica da material do solo nas

condições deste experimento. Esta mesma tendência foi observada para a saturação de bases ($R^2=0,99$, Quadro 1).

Em suma, a adição da cinza de caldeira promoveu incremento na atividade heterotrófica global do solo provavelmente em razão da efluente líquido da máquina de moagem de laranja. No entanto, com a rápida degradação não houve efeitos sobre o teor de matéria orgânica na material do solo. A adição de cinzas de caldeira aumentou o pH, os teores de fósforo, cálcio e magnésio e os valores da soma e saturação de bases, além de reduzir a acidez potencial. Não foram observados efeitos na concentração de sódio do solo.

<u>P</u>	$y = \frac{0,529 - 89,788}{1 + e^{\frac{x - 245,55}{49,86}}} + 89,788$	<u>pH</u>	$y = \frac{-1,57 - 7,09}{1 + e^{\frac{x + 189,47}{129,95}}} + 7,09$
<u>K</u>	$y = 0,168 + 0,042x$	<u>Ca</u>	$y = 3,08 + 0,017x$
<u>Mg</u>	$y = \frac{(-32,99 - 3,23)}{1 + e^{\frac{x + 118,97}{43,33}}} + 3,23$	<u>H+Al</u>	$y = \frac{16,06 - 11,92}{1 + e^{\frac{x - 43,96}{17,21}}} + 11,92$
<u>SB</u>	$y = 4,60 + 0,078x$	<u>V%</u>	$y = 23,08 + 0,289x$

Quadro 1. Equações de regressão obtidas nos estudos de tendência do comportamento das características de um solo degradado em função da adição de diferentes quantidades de cinza de caldeira de indústria de concentrado de frutas cítricas

BIBLIOGRAFIA

BUEDO, E.S. **Fertilizantes Comerciales - Sus fuentes y uso**. 1. ed., 1965. 276-279 p.

CAMARGO, O.A.; BERTON, R.S.; GERALDI, R.N. & VALADARES, J.M.A.S. Alterações de características químicas em um Latossolo Roxo distrófico incubado com resíduo de indústria de álcool açucareira. **Bragantia**, 43:125-139, 1984.

DAROLT, M.R., BIANCO NETO, V. & ZAMBON, F.R.A. Cinza Vegetal como Fonte de Nutrientes e Corretivos de Solo na Cultura da Alface. **Horticultura Brasileira**, 11:38-40, 1993

LOGAN, T.J.; GOINS, L.E. & LINDSAY, B.J. Field assessment of trace element uptake by six vegetables from N-Viro Soil. **Water Environmental Research**. 9:28-33, 1997.

MALAVOLTA, E. **Manual de Química Agrícola; adubos e adubações**. 2. ed. São Paulo, Agronômica Ceres, 1967. 606 p.

MALAVOLTA, E. **Sobre a utilização agrícola do resíduo de cinza de caldeira**, CNA - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP, In: Parecer para Cargill Citrus Ltda, Piracicaba, 2001, 17 p.

MITTRA, B.N.; KRAMKAR, S.; SWAIN, D.K. & GOSH, B.C. Fly ash: A potential source of soil amendment and a component of integrated plant nutrient supply system. **FUEL**, v. 84, p.1447-1451, 2005.

PRADO, R. M.; COUTINHO, E.L.M.; ROQUE, C.G. & VILLAR, M.L.P. Avaliação da escória de siderurgia e de calcários como corretivos da acidez do solo no cultivo da alface. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 539-546, 2002.

RAIJ, B.V.; QUAGGIO, J.A. & CANTARELLA, H. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas, Fundação Cargill, 1987. 107p.

RIGAU, A. **Los Abonos - Su preparaeion y empleo**. 2- ed. Barcelona, Editora Flores,1960. 80 p.

SANTOS, J.A.G.; MOREAU, A.M.S.S.; REZENDE, J.O.; COELHO, I.A.; SILVA, E. & CRUSOÉ, G. Avaliação do Potencial Corretivo da Cinza, Oriunda de Biomassa Vegetal, Comparada ao Calcário. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., Viçosa, **Resumos**. Viçosa, Sociedade Brasileira da Ciência do Solo, 1995. P.1148-1150.

SCOTTI, I. A.; SILVA, S. & BOTTESCHI, G. Effect of fly ash on the availability of Zn, Cu, Ni and Cd to chicory. **Agriculture, Ecosystem and Environment**, 72:159-163, 1999.

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.

SINGH, C.B.; OSWAL, M.C. & GREWAL, K.S. Impact of fly ash application on consumptive and water use efficiency in wheat (*Triticum aestivum*) under different soils. **Indian Journal of Agriculture Science**, v. 72, n. 396-399, 2002.

CAPÍTULO 3 – EFEITO DA APLICAÇÃO DE CINZAS DE CALDEIRA SOBRE AS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E BIOLÓGICAS DE UM SOLO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR.

RESUMO - A utilização de resíduos da agroindústria como fertilizantes em culturas comerciais, principalmente nas culturas de citros e cana-de-açúcar, é uma das opções mais viáveis para a transformação destes passivos em benefícios ambientais, contribuindo para a sustentabilidade do sistema. O presente trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar as alterações físico-químicas e biológicas em solo cultivado com cana-de-açúcar após a aplicação de cinza de caldeira proveniente da queima de bagaço de cana-de-açúcar em uma indústria de concentrados de frutas cítricas. Para tanto, foi conduzido um ensaio a campo em delineamento em blocos casualizados com quatro repetições e os tratamentos constaram da aplicação de 0, 20, 40, 60, 80 e 100 t.ha⁻¹ de cinza de caldeira aplicada com uma máquina de aplicar calcário. Antes da aplicação da cinza de caldeira e aos 30 e 90 dias após a aplicação foram tomadas amostras para avaliação da atividade heterotrófica global e as características físico-químicas do solo. A atividade heterotrófica global apresentou aumento proporcional ao aumento da dose de cinza aplicada para todos os períodos de avaliação, exceto para o último período, talvez devido ao desaparecimento do efeito positivo da adição da cinza. A adição de cinzas promoveu o aumento do teor de fósforo e potássio e diminuição da acidez potencial.

Palavras-Chave: passivo ambiental, sustentabilidade agrícola, resíduo sólido, fertilidade do solo

EFFECT OF APPLICATION OF ASH BOILER ON THE PHYSICO-CHEMICAL AND BIOLOGICAL CHARACTERISTICS IN CULTIVATED SOIL WITH SUGAR-CANE.

ABSTRACT - The use of agro industry residues as fertilizer in agriculture is one of the more viable options for the destination of these environmental residues in an ecologically friendly way, and contributing to the agricultural sustainability. Aiming to evaluate the effects of the disposal of sugar-cane bagasse boiler ash in a soil (Latossol Vermelho Escuro, sandy texture) cultivated with sugar-cane, a field experiment was carried in a complete randomized block experimental design with four treatments. The treatments were composed by 0, 20, 40, 60, 80, and 100 t. ha⁻¹ of sugar-cane bagasse ash, delivered through a liming equipment. Before the ash disposal and at 30 and 90 days after, soil samples were taken, dried and evaluated for heterotrophic soil activity and the main physico-chemical features used for fertilizer and liming recommendations. The soil heterotrophic activity increased was increased proportionally the ash doses at 30 days after the application, but at 90 days there were no effects in CO₂ evolution, probably due to the complete decomposition of the small amount of organic matter from the washing water of the orange juice machinery and used for wetting the ash for transportation. The ash application increased the soil contents for phosphorus, potassium and reduced the potential acidity.

Key Words: environmental residue, agricultural sustainability, solid residue, soil fertility

INTRODUÇÃO

A produção brasileira de cana-de-açúcar foi de 653.181.799 toneladas em 2008, o que representou um crescimento de 19,2% em relação a 2007 (IBGE, 2009). A expansão da área plantada em 12,5%, reflexo dos novos projetos que estão sendo implantados no país para atender a demanda de álcool, foi a principal responsável pelo crescimento da produção. A produtividade também vem crescendo nos últimos anos com a introdução de novas variedades e tecnologias (IBGE, 2009).

Na maior parte do Estado de São Paulo, a cultura da cana convive com os pomares de citros, sendo este o maior produtor para ambas as culturas no Brasil. Assim, no conceito de sustentabilidade é natural a interação entre os setores, envolvendo as práticas agrícolas e industriais.

A utilização de resíduos da própria indústria sucro-alcooleira e de outras agroindústrias na fertilização de solos cultivados com cana-de-açúcar constitui um importante passo na busca por sistemas de produção sustentáveis. GLÓRIA & ORLANDO FILHO (1983) estudaram a aplicação de vinhaça em solo cultivado com cana-de-açúcar e observaram: elevações do pH; da disponibilidade de alguns íons; da capacidade de troca catiônica (CTC), além de aumento da capacidade de retenção de água e melhoria da estrutura física do solo.

O bagaço da cana-de-açúcar tem sido utilizado como fonte de energia, pelo processo da combustão, Neste processo, a cinza de caldeira é um resíduo produzido em grandes quantidades e deve ser utilizado de maneira ecologicamente correta para não gerar problemas ambientais. Segundo MALAVOLTA (2001), uma tonelada de cana gera 550 Kg de bagaço e, com a combustão, 16,5 kg de cinzas. Considerando a produção de 2008 e os dados de MALAVOLTA (2001) é possível estimar uma quantidade de 359.249.989 toneladas de bagaço e 10.777.500 toneladas de cinza de caldeira. O destino da cinza de caldeira tem sido o solo, muitas vezes utilizado como simples material de descarte (FREITAS, 2005) ou na construção civil, devido sua propriedade pozolânica (DAFICO et al., 2003)

FEITOSA et al. (2009) comentam que as cinzas de caldeira de bagaço de cana-de-açúcar, por apresentarem quantidades consideráveis de nutrientes de plantas, podem ser aproveitadas em solos de baixa fertilidade natural, melhorando as suas características físico-químicas. BRUNELLI & PISANI Jr. (2006) ponderam que a utilização da cinza na agricultura é ecologicamente viável e economicamente interessante, pois uma vez incorporado ao solo melhora sua capacidade de retenção de umidade, corrige parcialmente a acidez e proporciona melhoria ao crescimento das culturas. Estes autores e GLORIA et al. (1993) apresentam a composição química deste material e demonstram que é rico em nutrientes de plantas e contém baixos teores de elementos tóxicos ao crescimento vegetal.

FEITOSA et al. (2009) observaram que as cinza de caldeira provenientes da queima do bagaço da cana-de-açúcar incorporadas ao solo promoveram incrementos nos valores de pH, nos teores de Ca e K e da soma de bases de um Latossol Vermelho Amarelo, textura arenosa. Os autores ainda observaram que os teores de K no solo foram superiores aos verificados para a adubação química recomendada para o milho, indicando que as cinzas podem ser eficiente fonte de potássio. FERREIRA et al. (2000) justificam o efeito das cinzas sobre o pH pela formação de carbonato de cálcio resultante de sua reação com o solo.

BRUNELLI & PISANI (2006) comentam que a disposição da cinza de caldeira como material de descarte em áreas agrícolas não é autorizada pelas agências ambientais do Brasil e destacam que há necessidade de estudos que subsidiem as decisões referentes às autorizações do uso agrícola deste resíduo.

A indústria de frutas cítricas tem utilizado o bagaço de cana-de-açúcar como fonte de energia e a cinza tem algumas características específicas, pois para o transporte, este resíduo é umedecido com água de lavagem das máquinas de moagem de laranja ou limão.

Desse modo, o objetivo do presente trabalho foi avaliar os efeitos da incorporação de cinza de caldeira proveniente da queima de bagacilho de cana-de-açúcar em uma indústria de concentrado de frutas cítricas sobre as propriedades físico-químicas e biológicas de um solo cultivado com cana no sistema convencional com

queima da palha para a colheita dos colmos, visando fornecer subsídios para análise de risco para utilização deste material na fertilização do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

A fase experimental foi instalada em outubro de 2006 na Fazenda Santa Maria localizada no município de Matão, SP, sobre um solo Podzólico Vermelho Escuro, textura média. A área era cultivada com cana-de-açúcar de primeiro corte e as plantas apresentam uma altura média de 50 cm. A cinza de caldeira foi obtida em uma indústria de concentrados de frutas cítricas localizada em Matão, SP. As parcelas experimentais tiveram as dimensões de 20 x 14 metros e como área útil foi considerada uma área de 18 x 12 metros centrais de cada unidade experimental.

O experimento foi instalado no delineamento experimental em blocos ao acaso com quatro repetições e os tratamentos contemplaram doses de cinza de caldeira de 0, 20, 40, 60, 80 e 100 t.ha⁻¹ de cinzas de caldeira.

Para avaliação dos efeitos dos tratamentos na atividade heterotrófica global foram tomadas amostras de solo antes da aplicação da cinza de caldeira e aos 30, 90 e 180 dias após. Para a avaliação sobre as características físico-químicas consideradas na avaliação da fertilidade do solo para recomendação de adubação e calagem e teores de alguns micronutrientes e metais pesados as amostragens foram realizadas antes da aplicação e aos 30 e 180 dias após. Estas amostras foram tomadas na camada de 0-15 cm, levadas ao Nepeam/Unesp Jaboticabal, secadas a sombra, peneiradas em tamis de 2 mm, e armazenadas em local seco e fresco. Para melhor representatividade dos resultados em cada parcela foi tomada uma amostra composta por cinco sub-amostras.

Para a irrigação adequada durante a época de incubação foi determinado o poder de embebição do solo por gravimetria. Para tanto, amostras de 25 gramas de solo (TFSA) foram saturadas de água em cadinhos perfurados no fundo pela imersão em água suficiente para atingir 3/4 da altura da altura do solo. O tempo deixado para a

saturação do solo foi de 24 horas. Após este período, os cadinhos foram transferidos para o interior de frascos de vidros, sobre placas perfuradas para escoamento da água gravitacional também por 24 horas. O poder de embebição foi calculado pela comparação entre os pesos do solo antes da embebição e depois do escoamento da água gravitacional.

Para a determinação da atividade heterotrófica global, alíquotas de 200g de solo foram acomodadas em frascos de vidro transparentes com volume de dois litros. A seguir foi colocada quantidade de água para atingir 70% do poder de embebição. Sobre as amostras de solo foram colocados dois frascos de vidro, um contendo 20 mL de água e outro contendo 20 mL de NaOH (1 mol/L) para recrutamento do CO₂, liberado pela respiração dos organismos que colonizavam o solo. Os frascos foram hermeticamente fechados para impedir as trocas gasosas e incubados a 25±1°C, no escuro. As avaliações foram realizadas a cada 48 horas. Em cada avaliação, o NaOH foi retirado do copinho, transferido para um béquer de 50 mL, e adicionado de 5 mL de solução aquosa de BaCl₂ (cloreto de bário) para a precipitação do Na₂CO₃ formado. Em seguida foram adicionadas de duas a três gotas de solução aquosa de fenolftaleína como indicador do ponto de viragem (de rosa para branco leitoso) e procedeu-se a titulometria com HCl 0.65 N. (BALOTA et al., 1998).

A fórmula utilizada para a estimativa da quantidade de CO₂ seqüestrado pela solução de CO₂ foi:

$$C = ((B - V) * N * E) / (Q)$$

Onde:

C = mg de CO₂ por kg de solo

B = volume de HCl gasto na titulação do controle (branco)

V = volume de HCl(gasto na titulação das amostras expostas ao solo)

N = normalidade do HCL (0,65 N)

E = equivalente grama do C (6 g)

Q = quantidade de solo utilizada em cada vidro (0,2 kg)

Para avaliação dos tratamentos sobre as principais características físico-químicas do solo, as amostras foram analisadas no laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Solos e Adubos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP Jaboticabal. As análises químicas foram realizadas seguindo os procedimentos descritos por RAIJ et al. (1987).

A abordagem estatística dos dados constou de análise variância pelo teste F, seguida de teste de comparação de médias pelo teste de Duncan.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A atividade heterotrófica global, estimada pela evolução de CO₂ produzido pela respiração dos organismos presentes no solo, é uma determinação bastante sensível e capaz de detectar mais rapidamente as mudanças nos teores de carbono associadas ao manejo, incluindo adição de resíduos (FRIES & AITA, 1990; FRANZLUEBBERS et al., 2000).

Nas amostras tomadas antes da aplicação (Figura 1), não foram detectadas diferenças estatisticamente significativas entre os valores da evolução de CO₂ indicando que a atividade microbiana era similar em todas as parcelas que receberiam as adições da cinza de caldeira. Este resultado atesta que o critério adotado na eleição da área foi correto, com parcelas uniformes em termos de atividade heterotrófica global e também confere maior representatividade aos resultados.

Nas amostras coletadas aos 7 dias após a adição da cinza de caldeira (Figura 1), houve similaridade estatística entre os valores das evoluções de CO₂ dos tratamentos que receberam as doses de 40, 60, 80 e 100 t.ha⁻¹ e foram os maiores valores obtidos. Em todos os períodos de incubação também houve similaridade estatística entre os valores observados na testemunha sem adição de cinza e o tratamento que recebeu 20 t.ha⁻¹. Nas doses intermediárias não ocorreu um padrão de diferenças estatisticamente entre os valores de evolução do CO₂. No final de 28 dias de incubação, ainda ocorriam diferenças estatisticamente significativa entre os valores observados nas áreas que

receberam cinza de caldeira dose de $100 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ e aquelas que receberam menos de $40 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Considerando a quantidade final de CO_2 evoluído das amostras de solo e tomando o valor da testemunha como base, é possível estimar que ao final de 30 dias de incubação, os acréscimos da respiração edáfica foram de 3,8%, 24,3%, 19,0%, 52,5% e 33,8% para as doses de cinza de caldeira de 20, 40, 60, 80 e $100 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, respectivamente.

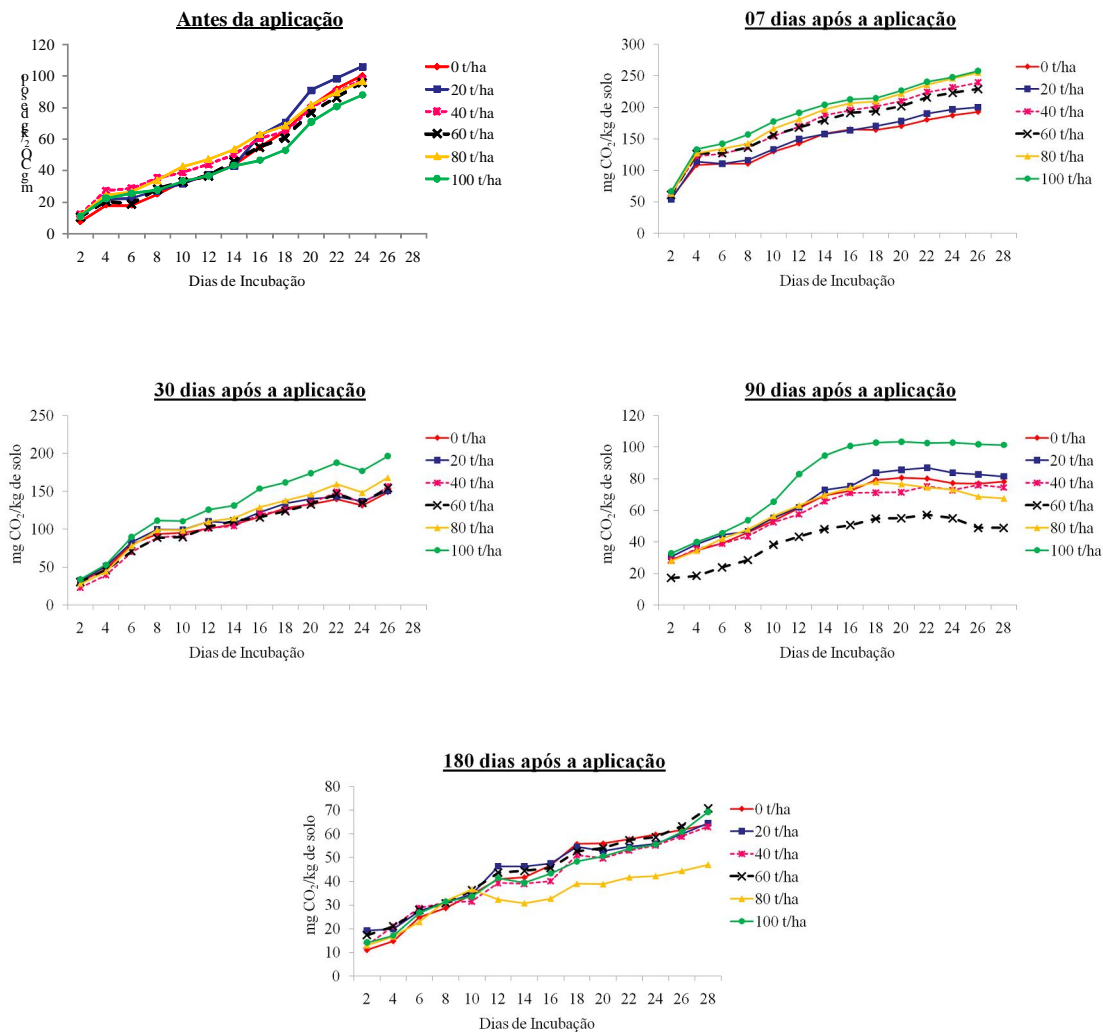


Figura 1. Representações gráficas dos valores da evolução acumulada de CO_2 em amostras de terra coletada em área de cana-de-açúcar antes da aplicação da cinza de caldeira e aos 7, 30, 90 e 180 dias após.

Os valores da respiração edáfica das amostras de solo coletadas aos 30 dias após a adição da cinza de caldeira (Figura 1) não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre doses de adição (incluindo a testemunha) nas avaliações efetuadas após 4, 6, 14, 16 e 20 dias de incubação. Nas avaliações realizadas aos 8, 10, 12, 18 e 22 dias de incubação, houve diferença estatística entre os valores observados para as doses de 40 e 60 t.ha⁻¹ e os observados para a dose de 100 t.ha⁻¹. Após 22 dias de incubação, a diferença estatística foi entre a maior dose de cinza de caldeira e os valores observados para as doses menores que 80 t.ha⁻¹. Considerando a quantidade final de CO₂ evoluído das amostras de solo e tomando o valor da testemunha como base observa-se que ao final de 28 dias de incubação, os acréscimos da respiração edáfica foram de 1,34% 5,0%; 3,7%; 12,5% e 31,19% para as doses de cinza de caldeira de 20, 40, 60, 80 e 100 t.ha⁻¹.

Nas amostras coletadas aos 90 dias após a aplicação da cinza de caldeira (Figura 1), nos períodos iniciais de incubação, desde 4 dias até os 14 dias, houve diferença estatística entre os valores da evolução de CO₂ das amostras coletadas no tratamento que recebeu 60 t.ha⁻¹ de cinza de caldeira e os demais tratamentos, incluindo a testemunha. Aos 16, 22, 24, 26 e 30 dias de incubação, a inferioridade estatística dos valores observados para as parcelas que receberam 60 t.ha⁻¹ apenas foi significativa com relação à dose de 100 t.ha⁻¹ de cinza de caldeira. Aos 28 dias de incubação o valor de evolução de CO₂ obtido nas amostras coletadas no tratamento que recebeu 60 t.ha⁻¹ foi estatisticamente inferior aos valores observados naqueles que receberam 20 e 100 t.ha⁻¹. Nestas amostras em particular, a respiração edáfica observada no período de dois dias de incubação foi muito baixa. Como os demais valores são acumulados, este baixo valor inicial influenciou os valores de períodos posteriores de incubação. Aparentemente este resultado parece não ter significado importante, uma vez que doses inferiores e superiores foram estatisticamente similares.

Nas amostras coletadas aos 180 dias após a aplicação da cinza de caldeira (Figura 1), a respiração edáfica foi similar para todos os tratamentos exceto no primeiro período de incubação, dois dias, em que o valor observado na testemunha foi

estatisticamente inferior ao observado no tratamento que recebeu 20 t.ha⁻¹. É possível afirmar que o efeito positivo da adição da cinza de caldeira de uma fábrica de sucos de frutas cítricas sobre a atividade heterotrófica global do solo já havia sido dissipado.

Teoricamente, a cinza de caldeira teria pouca possibilidade de incrementar a atividade heterotrófica global da terra pela ausência de carbono orgânico. No entanto, a cinza de caldeira produzida na indústria de concentrados de frutas cítricas é umedecida com efluente líquido para evitar o carregamento pelo vento durante o transporte ao campo. Este efluente é constituído pela água de lavagem das máquinas de moagem e carrega resíduos de suco e de bagaço de laranja. Esta é a possível explicação para o aumento da evolução de CO₂ nas amostras de material do solo que receberam quantidades crescentes da cinza. O efeito duradouro da incorporação das elevadas doses de cinza de caldeira também permite sugerir que este material adicionou ao solo algum elemento que estava limitando a atividade microbiana do solo. Mais pesquisas serão necessárias para esclarecer este efeito, uma vez que não foi observado na literatura consultada qualquer trabalho envolvendo incorporação ao solo de cinza de caldeira resultante da queima de bagaço da cana e atividade heterotrófica global.

Tabela 1. Características químicas do solo na área de cana-de-açúcar com adição de cinzas de caldeira de uma indústria de concentrado de frutas cítricas. Amostras tomadas antes da aplicação.

Dose (t.ha⁻¹)	P resina (mg/dm³)	M.O (g/dm³)	Ph (CaCl₂)	K (mmol_c/dm³)	Ca (mmol_c/dm³)
0	11,75 a	24,75 a	5,50 a	2,23 a	21,75 a
20	10,25 a	26,00 a	5,53 a	1,80 a	22,00 a
40	13,25 a	23,50 a	5,70 a	1,75 a	30,25 a
60	10,50 a	23,00 a	5,48 a	1,68 a	19,50 a
80	11,00 a	24,00 a	5,45 a	1,45 a	19,50 a
100	12,25 a	22,00 a	5,63 a	1,90 a	21,50 a
Dose (t.ha⁻¹)	Mg (mmol_c/dm³)	H+ AL (mmol_c/dm³)	SB (mmol_c/dm³)	CTC (mmol_c/dm³)	V % (%)
0	14,00 a	20,00 a	37,25 a	57,25 a	62,25 a
20	13,00 a	20,50 a	36,75 a	57,25 a	63,75 a
40	15,50 a	18,25 a	47,50 a	65,75 a	70,25 a
60	11,75 a	20,25 a	33,00 a	53,25 a	61,75 a
80	12,00 a	20,50 a	33,00 a	53,50 a	61,75 a
100	12,50 a	19,00 a	36,00 a	55,00 a	65,00 a

No entanto, é importante citar que a cinza de caldeira, mesmo na maior dose, não proporcionou qualquer inibição à atividade microbiana global do solo, em qualquer época avaliada.

Os resultados mostram que antes da aplicação não havia diferença estatisticamente significativa nas características químicas de solo entre as parcelas destinadas à adição de diferentes quantidades de cinza de caldeira (Tabela 1). Este resultado é bastante importante porque evidencia que a área era uniforme em termos de características químicas, o que reflete a adequada escolha da área e garante representatividade dos resultados posteriores.

Aos 30 dias após a aplicação da cinza de caldeira (Tabela 2), os resultados mostram aumento significativo dos teores de fósforo no solo nas parcelas que receberam acima de 40 t.ha⁻¹ e este foram estatisticamente superiores aos teores observados na testemunha e nos tratamentos que receberam 20, 40 t.ha⁻¹. Considerando a dose de 40 t.ha⁻¹, o incremento do teor de P foi de 3,43 vezes. Estes

resultados são superiores aos observados de FEITOSA et al (2009) de 1,4 vezes. Mesmo assim, o teor de P continua sendo considerada muito baixa para culturas perenes, segundo classe de interpretação adotada pelo Laboratório de Fertilidade do Solo da FCAV/UNESP.

Não houve influencia da adição de cinza de caldeira sobre os teores de matéria orgânica no solo. É possível que neste período de 30 dias, os resíduos de bagaço de laranja presentes na água de lavagem das moendas e utilizadas para umedecimento das cinza já tenham sido decompostos, nas condições de campo. Este resultado também foi observado por FEITOSA et al. (2009).

O valor do pH foi mais elevado no tratamento que recebeu 40 t.ha^{-1} de cinza de caldeira em relação à testemunha. Em relação às demais doses, não houve diferença significativa. FEITOSA et al. (2009) observaram efeitos da cinza de caldeira aumentando o pH de um Latossolo Vermelho Amarelo, textura arenosa, o qual tinha um pH original mais baixo que o do presente trabalho (4,6 para 5,5). Para FERREIRA et al. (2000) o efeito das cinzas sobre o pH ocorre pela formação de carbonato de cálcio em reação com o solo.

Os teores de potássio foram mais elevados nas parcelas que receberam cinza de caldeira, independente da dose. Os valores observados na testemunha foram significativamente inferiores às doses de 60 e 80 t.ha^{-1} . BRUNELLI & PISANI (2006) e FEITOSA et al. (2009) consideram que a cinza de caldeira constitui importante fonte de K para as plantas cultivadas e pode ser utilizada substituindo parcial ou totalmente adubos químicos específicos para este nutriente.

Tabela 2. Características químicas do solo na área de cana-de-açúcar com adição de cinzas de caldeira de uma indústria de concentrado de frutas cítricas. Amostras tomadas 30 dias após a aplicação.

Dose (t.ha⁻¹)	P resina (mg/dm³)	M.O (g/dm³)	pH (CaCl₂)	K (mmol_d/dm³)	Ca (mmol_d/dm³)
0	12,75 b	21,25 a	5,38 b	2,83 c	21,00 a
20	16,75 b	22,00 a	5,50 ab	4,18 abc	20,50 a
40	23,00 b	21,25 a	5,80 a	3,80 bc	36,50 a
60	42,25 a	21,00 a	5,73 ab	6,25 a	24,75 a
80	42,75 a	21,00 a	5,70 ab	5,83 ab	24,50 a
100	43,75 a	21,25 a	5,65 ab	3,70 bc	25,00 a
Dose (t.ha⁻¹)	Mg (mmol_d/dm³)	H+ AL (mmol_d/dm³)	SB (mmol_d/dm³)	CTC (mmol_d/dm³)	V % (%)
0	11,25 a	21,75 a	35,00 a	56,75 a	61,50 a
20	11,25 a	20,50 a	35,75 a	56,25 a	63,50 a
40	16,00 a	17,75 a	56,25 a	74,00 a	72,50 a
60	12,50 a	17,75 a	111,25 a	61,50 a	69,75 a
80	13,75 a	19,00 a	44,25 a	63,25 a	69,50 a
100	13,25 a	19,75 a	41,75 a	61,50 a	67,25 a

Não houve influencia das doses de cinza de caldeira adicionada na área de cana-de-açúcar sobre os teores de cálcio, magnésio. H+Al, soma e saturação de bases e capacidade de troca catiônica estimada do solo cultivado com cana-de-açúcar. Estes resultados são diferentes daqueles observados por FEITOSA et al. (2009), que observaram efeitos significativos da adição de cinza de caldeira sobre os teores de Ca, Mg, H+Al, soma e saturação de bases. No entanto, é importante observar os valores foram obtidos em vasos, sob condições de casa de vegetação, onde não havia possibilidade de percolação dos nutrientes e no presente trabalho é possível que tenha havido percolação dos nutrientes móveis para fora da camada de solo amostrada. O fósforo que tem pequena capacidade de movimentação no solo teve seus teores elevados pela adição da cinza de caldeira.

Aos 90 dias após a aplicação da cinza de caldeira (Tabela 3), continuou ocorrendo um efeito crescente dos teores de fósforo no solo. Acima de 20 t.ha⁻¹ de cinza de caldeira, os valores observados foram estatisticamente superiores aos valores determinados na testemunha sem adição de cinza. O efeito da incorporação da cinza

de caldeira sobre o teor de P no solo já havia sido observado aos 30 dias após a aplicação e por FEITOSA et al. (2009). A persistência do efeito sobre este nutriente por 90 dias pode ser atribuída à sua baixa movimentação no perfil do solo.

Aos 90 dias após a aplicação da cinza de caldeira (Tabela 3), não foram observados efeitos significativos sobre o teor de matéria orgânica, cálcio, magnésio, soma de bases e CTC.

Tabela 3. Características químicas do solo na área de cana-de-açúcar com adição de cinzas de caldeira de uma indústria de concentrado de frutas cítricas. Amostras tomadas 90 dias após a aplicação.

Dose (t.ha⁻¹)	P resina (mg/dm³)	M.O (g/dm³)	pH (CaCl₂)	K (mmol_c/dm³)	Ca (mmol_c/dm³)
0	8,5 b	18,0 a	5,2 b	1,2 b	18,7 a
20	12,7 ab	18,7 a	5,3 ab	1,6 ab	19,0 a
40	23,0 ab	19,0 a	5,5 ab	2,2 ab	23,0 a
60	29,5 a	19,5 a	5,5 ab	2,9 a	21,8 a
80	26,7 a	20,5 a	5,4 ab	2,6 a	21,2 a
100	28,5 a	21,0 a	5,6 a	2,7 a	21,5 a
Dose (t.ha⁻¹)	Mg (mmol_c/dm³)	H+ AL (mmol_c/dm³)	SB (mmol_c/dm³)	CTC (mmol_c/dm³)	V % (%)
0	9,7 a	27,2 a	29,7 a	55,9 a	51,9 b
20	10,2 a	25,0 ab	30,9 a	57,0 a	55,2 ab
40	11,0 a	25,0 ab	34,6 a	57,7 a	62,2 a
60	11,7 a	22,0 a	35,7 a	58,0 a	62,0 a
80	10,7 a	21,7 b	36,2 a	58,2a	58,1 ab
100	11,5 a	21,7 b	36,4 a	59,6 a	61,7a

Quanto aos teores de potássio, os valores foram significativamente maiores nas parcelas que receberam as doses de 40, 60, 80 e 100 t.ha⁻¹ de cinza de caldeira em relação à testemunha. As duas maiores doses também aumentaram de forma significativa os teores de potássio em relação à dose de 20 t/ha. Não foi possível estabelecer um modelo de co-relação não linear entre a dose de cinza de caldeira e a concentração de potássio no solo. É importante salientar que BRUNELLI & PISANI (2006) e FEITOSA et al. (2009) acentuam que a cinza de caldeira pode ser utilizada xcomo importante fonte de K na adubação das culturas.

Os teores de H+Al foram superiores na testemunha sem adição de cinza de caldeira em relação às parcelas que a receberam na dose de 80 e 100 t.ha⁻¹, evidenciando um efeito de correção da acidez potencial, como acentuado por BRUNELLI & PISANI (2006).

A saturação de bases foi elevada pela aplicação da cinza de caldeira e este efeito pode estar relacionado ao aumento do teor de K e às elevações, embora não significativas, dos teores de Ca e Mg no solo.

Os resultados foram bastante interessantes mostrando efeitos da adição da cinza de caldeira nas características do solo, melhorando, os teores de fósforo e potássio e reduzindo os teores de H+Al. A utilização deste sub-produto comum às indústrias de concentrados de frutas cítricas e de cana-de-açúcar contribuirá no desenvolvimento de sistemas sustentáveis de produção agrícola.

BIBLIOGRAFIA

BALOTA, E.L.; COLOZZI-FILHO A. ; ANDRADE, D.S., HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 641-649, 1998

BRUNELLI, A. M. M. P. & PISANI JUNIOR, R. Proposta de disposição de resíduo gerado a partir da queima de bagaço de cana em caldeiras como fonte de nutriente e corretivo de solo. In: CONGRESO IBEROAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, 30º, Punta Del Este, 2006. **Anais**, 2006, p. 1-9

DAFICO, D. A. **Métodos de produção de cinza de casca de arroz para utilização em concretos de alto desempenho**. 2003. Disponível em http://www2.ucg.br/nupenge/pdf/Dario_Resumo.pdf, acesso em 10/10/2009.

FEITOSA, D. G.; MALTONI, K. L. & SILVA, I. P. F. Avaliação da cinza oriunda da queima do bagaço da cana-de-açúcar na substituição da adubação química convencional para produção de alimentos e preservação do meio ambiente. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 04. n. 02, p. 2412-2415, 2009.

FREITAS, E.S. Caracterização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar no município de Campos dos Goytacazes para uso na construção civil. Campos do Goyatacezes, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2005. **Dissertação de Mestrado**, 81 p.

GLÓRIA, N. A.; ORLANDO FILHO, J. Aplicação de vinhaça como fertilizante. **Boletim Técnico do Planalsucar**, Araras, v.5, p.5-38, 1983.

GLÓRIA, N. A.; MATTIAZZO, M. E. & MORAES, C. J. Avaliação da fuligem como fonte de potássio e fósforo para vegetais. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 5º, Águas de São Pedro, 1993. **Anais**, p 13-16.

IBGE. **Levantamento Sistememática da Produtividade Agrícola**. Rio de Janeiro, Editora do IBGE, v.20, n.12, 2008. 80 p.

MALAVOLTA, E. **Sobre a utilização agrícola do resíduo de cinza de caldeira**, CNA - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP, In: *Parecer para Cargill Citrus Ltda*, Piracicaba, 2001, 17 p.

CONCLUSÕES

Nas condições em que foram desenvolvidos os ensaios do presente projeto e baseado nas literaturas consultadas, as seguintes conclusões foram possíveis:

- A cinza de caldeira apresenta um efeito transitório de curto prazo no aumento da atividade heterotrófica global do solo, provavelmente devido a presença de sólidos orgânicos solúveis e restos de bagaço de laranja presentes na água de lavagem dos equipamentos de moagem e processamento do suco e que é utilizada para umedecimento da cinza para transporte ao campo;
- Em sistema fechado de casa de vegetação, a adição da cinza de caldeira alterou positivamente os teores de potássio, cálcio e magnésio, a soma e saturação de bases, o pH e reduziu a acidez potencial de solo degradado.
- Nas condições de campo, houve efeitos positivos da adição da cinza de caldeira sobre o teor de fósforo e de potássio em Latossol Vermelho Escuro, textura arenosa cultivado com cana-de-açúcar e redução da acidez potencial.
- Os resultados corroboram com as observações de outros autores de que a cinza de caldeira pode ser utilizada como fonte de nutrientes e na melhoria das propriedades de solos agrícolas colaborando para a sustentabilidade de sistemas agrícolas.