

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**APLICAÇÃO DE CINZA DO BAGAÇO DE CANA-DE-
AÇÚCAR EM LATOSSOLO CULTIVADO COM CANA-DE-
AÇÚCAR**

Rodrigo Merighi Bega

Engenheiro Agrônomo

2014

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**APLICAÇÃO DE CINZA DO BAGAÇO DE CANA-DE-
AÇÚCAR EM LATOSSOLO CULTIVADO COM CANA-DE-
AÇÚCAR**

Rodrigo Merighi Bega

Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Corá

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal)

2014



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CAMPUS DE JABOTICABAL

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: APLICAÇÃO DE CINZA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR EM LATOSSOLO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR

AUTOR: RODRIGO MERIGHI BEGA

ORIENTADOR: Prof. Dr. JOSE EDUARDO CORA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL) , pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. JOSE EDUARDO CORA

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Prof. Dr. EDSON LUIZ MENDES COUTINHO

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Profa. Dra. CAROLINA FERNANDES

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Prof. Dr. ADOLFO VALENTE MARCELO

Centro Universitário de Rio Preto / São José do Rio Preto/SP

Profa. Dra. ANICE GARCIA

Fundação Educacional de Ituverava / Ituverava/SP

Data da realização: 25 de agosto de 2014.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

RODRIGO MERIGHI BEGA – Nascido dia 06 de fevereiro de 1976, em Guapiaçu, SP, cursou o ensino médio no Colégio Anglo, em São Jose do Rio Preto, SP, no período de 1990 a 1993. Em fevereiro de 1994, ingressou no Curso de Graduação em Engenharia Agrônômica pela Universidade de São Paulo - Câmpus de Piracicaba, SP. Em agosto de 1998, graduou-se Engenheiro Agrônomo. Em outubro de 1999, após aprovação em concurso público, assumiu o cargo de Engenheiro Agrônomo na Prefeitura de São José do Rio Preto, cargo ocupado até julho de 2012. Em agosto de 2001, iniciou o curso de Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical no Instituto Agronômico (IAC), obtendo o título de Mestre em julho de 2003. Em agosto de 2003, iniciou carreira como docente no Centro Universitário de Rio Preto, função que desempenha até a presente data. Em agosto de 2010, iniciou o curso de Doutorado na Universidade Estadual Paulista, Câmpus de Jaboticabal, SP, e, em agosto de 2014, submeteu-se à banca de avaliação da tese de doutorado com vistas à obtenção do título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal).

DEDICATÓRIA

A minha mãe NILVA e ao meu pai Walter, pelo incentivo constante nos meus estudos, pela dedicação e por serem os mais generosos dos pais,

À minha irmã REGIANE, que, infelizmente, não teve a chance de comemorar essa vitória e finalmente chamar o irmão de doutor ...

À LIZANDRA, minha amada esposa, pelo apoio incondicional em todos os momentos de incerteza e nas dificuldades; e, por preencher o espaço que deixei quando me dediquei à pesquisa, além de transpirar amor e dedicação a mim e aos nossos filhos ...

À HELOÍSA e RODRIGO FILHO, meus maiores PRESENTES!

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me possibilitado essa conquista e ter me presenteado com Heloísa e Rodrigo Filho durante o doutorado,

Ao meu orientador Prof. Dr. José Eduardo Corá, pela grande contribuição em minha formação como pesquisador, pelos ensinamentos, pela paciência e pela amizade.

Ao Prof. Dr. Adolfo Valente Marcelo, pela imensurável contribuição prestada para a finalização desse trabalho, pelos ensinamentos e pela disponibilidade em participar da banca de avaliação da tese.

À Prof^a. Dr^a. Carolina Fernandes, pelo apoio na fase final do trabalho e pelas contribuições sugeridas durante o exame geral de qualificação e defesa da tese,

Ao Prof. Dr. Edson Luiz Mendes Coutinho, pelas valiosas sugestões durante participações no exame geral de qualificação e na banca de avaliação da tese.

À Prof^a. Dr^a. Anice Garcia, que gentilmente disponibilizou seu tempo, e contribuiu de forma significativa para enriquecimento e aprimoramento do presente trabalho.

Ao Prof. Dr. Dilermando Percim e ao Prof. Dr. *Jairo Osvaldo Cazetta*, pelas participações no exame geral de qualificação,

À Companhia Agrícola Colombo, pela disponibilização da área, fornecimento da cinza, pela disponibilização de equipe para as avaliações de campo e pelo apoio financeiro e logístico.

Ao Engenheiro Agrônomo Gustavo Prates Vigna pelo grande auxílio na definição da área e na implantação do experimento,

A Prof^a Dr^a Ana Lúcia Tonani Tolfo pela participação nas atividades de campo em todos os momentos,

Aos amigos Sérgio Quassi, Paulo Pexe, Darlene Amaral, Liliane Pereira, Danilo Yamane, Priscila Volante, Getúlio Seben e Fernando Franco e demais amigos que fiz na Pós-Graduação pela companhia, auxílio e apoio em várias etapas do trabalho

Aos meus alunos de graduação, Odirlei Ribeiro, Guilherme Munhoz, Jonaz Gatti e Leandro Lourenço, pela amizade e auxílio durante as avaliações do experimento,

Ao funcionário Tiago de Souza Fieno, pelo auxílio prestado durante a instalação do experimento e pelo apoio durante as avaliações,

Aos funcionários do Departamento de Solos e Adubos e aos funcionários da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Produção (FEPP) da FCAV, pelo apoio durante todas as etapas do trabalho de pesquisa,

Ao Programa de Pós Graduação em Produção Vegetal e seus coordenadores, os professores Arthur Bernardes Cecílio Filho e Rouverson Pereira da Silva pela oportunidade e auxílio sempre que precisei.

Aos funcionários da seção de Pós-Graduação e da Biblioteca da Unesp – Campus de Jaboticabal, pelo excelente atendimento e auxílio.

A todos os meus amigos de sempre, que me apoiaram e torceram mesmo que a distância.

OBRIGADO

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	iii
ABSTRACT	iv
LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE TABELAS.....	vi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. Setor sucroenergético e cogeração de energia	3
2.2. Características das cinzas.....	5
2.3. Efeitos das cinzas nos atributos químicos do solo.....	6
2.3. Efeito das cinzas nos atributos físicos do solo.....	8
2.4. Atributos químicos do solo e produtividade de cana-de-açúcar	9
2.5. Atributos de qualidade da matéria prima	11
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	14
3.1. Implantação do experimento	14
3.2. Caracterização das cinzas	18
3.3. Tratos culturais.....	19
3.4. Atributos avaliados	19
3.4.1. Produtividade.....	19
3.4.2. Fertilidade do solo.....	21
3.4.3. Física do solo.....	21
3.4.4. Atributos tecnológicos	22
3.4.5. Análise estatística	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
4.1. Atributos químicos do solo	24

4.1.1. Cinza em linha	24
4.1.2. Cinza Incorporada.....	34
4.2. Atributos físicos do solo.....	39
4.3. Produtividade e atributos tecnológicos	40
5. CONCLUSÕES.....	44
6. REFERÊNCIAS	45

APLICAÇÃO DE CINZA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR EM LATOSSOLO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR

RESUMO - A queima do bagaço de cana-de-açúcar para a geração de energia, apesar da vantagem econômica, gera significativo volume de cinzas. Para solucionar o descarte de forma mais rápida desse material, o uso de altas doses das cinzas em área agrícolas próximas às unidades industriais pode ser uma adequada solução, caso não provoquem efeitos depressivos no ambiente. Portanto, a disposição de cinzas no solo deve respeitar critérios técnicos estabelecidos com base no conhecimento dos efeitos causados pelo uso das cinzas nos solos e nas plantas. Estudos que avaliem esses efeitos é o ponto de partida para a regulamentação pelos órgãos ambientais do uso das cinzas, entretanto são escassos os estudos nesse sentido. O presente trabalho objetivou avaliar o efeito da aplicação em cobertura e incorporada de cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBC) nos atributos químicos do solo, na produtividade da cana-de-açúcar e nos atributos tecnológicos. O experimento foi conduzido em duas modalidades distintas: cinza aplicada na linha da cultura em cana soca; e, cinza incorporada ao solo. O delineamento foi em blocos casualizados, com 5 tratamentos (doses de CBC de 0, 5, 10, 20 e 40 Mg ha⁻¹) e quatro repetições. Em duas safras, avaliou-se produtividade da cultura, atributos tecnológicos, atributos físicos do solo e atributos químicos. A aplicação em cobertura da CBC elevou os teores de potássio, saturação por bases e reduziu a acidez. Para a aplicação e incorporação o efeito ficou restrito à elevação dos teores de K no primeiro ano e redução da acidez potencial. Produtividade e os atributos tecnológicos não foram afetados.

Palavras chaves: Cinza de caldeira, fertilidade do solo, resíduos industriais, subprodutos

USE OF SUGARCANE BAGASSE ASH IN A OXISOL CULTIVATED WITH SUGARCANE

ABSTRACT – The burning of sugarcane bagasse for energy generation, despite the economic advantage, generates significant volume of ash. To solve the disposal faster this material, the use of high doses of ashes in the nearby industrial units agricultural area may be an appropriate solution if you do not cause depressive effects on the environment. Therefore, the disposal of ash in the soil must comply with technical criteria based on knowledge of the effects caused by the use of ashes in soils and plants. Studies assessing these effects are the starting point for the regulation by environmental agencies use the ashes, however there are few studies in this direction. This study aimed to evaluate the effect of sugarcane bagasse ash (CBC) on soil chemical properties, yield of sugarcane and technological attributes. The experiment was conducted in two distinct modes: ash applied sidedressed in line with the culture and ash incorporated into the soil. The design was a randomized block design with 5 treatments (rates of 0, 5, 10, 20 and 40 Mg ha⁻¹) and four replications. In two seasons, we evaluated sugarcane productivity, technological attributes, soil physical and chemical attributes. The application coverage of CBC increased the contents of potassium, base saturation and reduced acidity. For applying and incorporating the effect was restricted to elevated levels of K in the first year and reduced potential acidity. Productivity and technological attributes were not affected.

Keywords: Boiler ash, soil fertility, industrial wastes, by-products

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Composição tecnológica da Cana-de-açúcar	12
Figura 2. Valores médios mensais de temperatura do ar e de precipitação pluvial acumulada em Itajobi	14
Figura 3. Aspecto geral da cinza utilizada	16
Figura 4. Metodologia utilizada para aplicação em área total antes da incorporação (cana planta)	16
Figura 5. CBC aplicada a lanço (cana planta) antes da incorporação nas doses 5, 10, 20 e 40 Mg ha ⁻¹ (a, b, c, d respectivamente)	17
Figura 6. CBC aplicada na linha nas doses 5, 10, 20 e 40 Mg ha ⁻¹ (a, b, c, d respectivamente)	17
Figura 7. Área útil das parcelas	20
Figura 8. Procedimento de pesagem	20
Figura 9. Pesagem dos colmos de cana-de-açúcar de cada parcela	21
Figura 10. Coleta das amostras indeformadas	22
Figura 11. pH do solo em decorrência da aplicação de CBC na linha da cultura em cobertura nos dois anos avaliados	26
Figura 12. Acidez potencial em decorrência da aplicação de CBC na linha da cultura em cobertura nos dois anos avaliados	27
Figura 13. Saturação por bases em decorrência da aplicação de CBC na linha da cultura em cobertura nos dois anos avaliados	28
Figura 14. Teores de K nas camadas 0,0-0,1 m e 0,1-0,2 m em decorrência da aplicação de CBC na linha da cultura em cobertura em 2012	30
Figura 15. Teores de Fe no solo em decorrência da aplicação de CBC na linha da cultura em cobertura em 2012	32
Figura 16. Correlação entre os teores de Fe e pH no solo para o ano 1, após a aplicação de CBC na linha da cultura em cobertura em 2012	33
Figura 17. Teores de K em decorrência da incorporação de CBC em 2012	35
Figura 18. Acidez potencial em decorrência da incorporação de CBC	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resultados analíticos da cinza do bagaço de cana-de-açúcar, visando caracterização como fertilizante.	18
Tabela 2. Atributos químicos do solo em função de doses de CBC aplicadas na linha da cultura em cobertura, nas camadas 0,0-0,1 e 0,1-0,2 m em 2012.	24
Tabela 3. Atributos químicos do solo em função de doses de cinza CBC aplicadas na linha da cultura em cobertura, nas camadas 0,0-0,1 e 0,1-0,2 m em 2013	25
Tabela 4. Micronutrientes no solo em função de doses de CBC aplicadas na linha da cultura em cobertura, nas camadas 0-0,1 e 0,1-0,2 m para o ano 2012	31
Tabela 5. Micronutrientes no solo em função de doses de CBC aplicadas na linha da cultura em cobertura, nas camadas 0-0,1 e 0,1-0,2 m para o ano 2013	33
Tabela 6. Atributos químicos do solo em função de doses de cinza de CBC aplicadas e incorporada, nas camadas 0,0-0,1 e 0,1-0,2m em 2012	34
Tabela 7. Atributos químicos do solo em função de doses de CBC aplicada e incorporada, nas camadas 0,0-0,1 e 0,1-0,2m	37
Tabela 8. Micronutrientes no solo em função de doses de CBC aplicada e incorporada, nas camadas 0,0-0,1 e 0,1-0,2 m para o ano 2012	38
Tabela 9. Micronutrientes no solo em função de doses de CBC aplicada e incorporada, nas camadas 0,0-0,1 e 0,1-0,2 m para o ano 2013	38
Tabela 10. Atributos físicos do solo em função de doses de cinza de bagaço de cana-de-açúcar aplicada e incorporada	39
Tabela 11. Atributos físicos do solo em função de doses de cinza de bagaço de cana-de-açúcar aplicada em cobertura.	40
Tabela 12. Produtividade e atributos tecnológicos da cana-de-açúcar em função de doses de cinza de bagaço de cana-de-açúcar aplicada em cobertura.	41
Tabela 13. Produtividade e atributos tecnológicos da cana-de-açúcar em função de doses de cinza de bagaço de cana-de-açúcar aplicada e incorporada	42

1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar sempre ocupou posição importante para a economia do Brasil; desde a época colonial, quando era cultivada para a produção de açúcar. Posteriormente ganhou destaque nas décadas de 70 e 80 com o Programa Pró-alcool que trouxe incentivos para a produção do etanol como combustível alternativo face às crises internacionais do petróleo. Porém, a grande mudança estava por vir: o setor superou um período de transformações, onde partiu de um setor cuja função era a produção apenas de açúcar e etanol; chegando a um momento chave de utilização de toda biomassa da cana-de-açúcar para a produção de energia, colaborando de maneira decisiva na matriz energética nacional.

Assim, o colmo da cana-de-açúcar que antes era utilizado para a extração do caldo e produção de etanol ou açúcar, passou-se a usar o bagaço, resultante do processo de moagem, nas caldeiras para a cogeração de energia.

A cogeração de energia passou a ser um processo irreversível, e a maioria das unidades industriais adaptaram-se a essa realidade. Esse processo trouxe um novo problema: o grande volume de cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBC) gerado diariamente e a necessidade de destinação rápida e adequada.

A tradição do setor no uso de outros resíduos do processo industrial (vinhaça e torta de filtro) no solo agrícola abriu o caminho para a solução quanto aos volumes de cinzas gerados. Entretanto, na ótica das unidades industriais, quanto maior a dose de cinza possível de ser aplicada ao solo agrícola em áreas próximas às indústrias, mais simples seria a solução da logística desse resíduo, dispensando o transporte até áreas distantes, além da menor mobilização de equipamentos e equipes para transporte e aplicação. Além da destinação no solo, outra alternativa dada a alguns tipos de resíduos industriais é a destinação em aterro sanitário porém esse tipo de destinação é extremamente cara.

Como grande parte dos resíduos agroindustriais apresentam elementos essenciais às plantas em sua composição, como por exemplo o K, e a aplicação dos resíduos no solo é uma prática que se constitui em uma maneira de reciclar

importantes nutrientes para as plantas, ajudando na melhoria da fertilidade e proporcionando boas condições físicas para o cultivo além da economia de fertilizantes e corretivos.

Apesar de vantajoso do ponto de vista ambiental quando se vislumbra a possibilidade de resolver o problema de resíduos dentro da mesma cadeia, as unidades industriais corriam o risco de dispor as cinzas no solo de forma aleatória sem o devido conhecimento de suas interações com o solo. Sem dúvidas, a destinação de resíduos no solo pode trazer benefícios ao solo e à planta; porém, deve ser baseada em aspectos técnicos e científicos, visando-se determinar as quantidades a serem aplicadas, as quais dependem da composição do resíduo, dos atributos do solo e das exigências da cultura.

Adicionalmente, com base nos estudos, os órgãos públicos devem regulamentar a utilização, visando evitar disposição e/ou utilização inadequadas dos resíduos, possibilitando aumentos na produtividade das culturas, redução nos custos de produção e na logística de destinação correta de resíduos. Estudos realizados com CBC são escassos na literatura.

Assim, trabalhos visando avaliar os efeitos da aplicação de CBC no solo e no desempenho das culturas são de caráter relevante, haja vista, a falta de informações sobre o assunto.

Portanto, a hipótese deste trabalho é que a aplicação de CBC ao solo em cobertura ou incorporada influencia os atributos químicos e físico do solo e, conseqüentemente, a produtividade e atributos tecnológicos da cultura da cana-de-açúcar. O objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito de doses de CBC nos atributos físicos e químicos do solo; na produtividade de cana-de-açúcar e nos atributos tecnológicos da cultura.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Setor sucroenergético e cogeração de energia

As fontes alternativas de energia como eólica, solar e da biomassa, são consideradas como positivas, pois além de causarem impactos substancialmente menores que as fontes convencionais, ainda evitam a emissão de toneladas de gás carbônico na atmosfera (BERMANN, 2008). O autor ainda acrescenta que o debate contínuo sobre os impactos causados pela dependência de combustíveis fósseis contribui decisivamente para o interesse mundial por soluções sustentáveis por meio de geração de energia oriunda de fontes limpas e renováveis, e ambientalmente corretas como a biomassa.

Ripoli e Ripoli (2010) definem biomassa do ponto de vista energético como toda matéria orgânica, seja de origem animal ou vegetal que pode ser transformada em energia. No setor sucroenergético, destaca-se como biomassa o bagaço, a palhada e os ponteiros da cana, além do vinhoto das destilarias de álcool como subprodutos que podem ser utilizados na produção de eletricidade via cogeração.

Especificamente, a queima do bagaço em caldeira é responsável pela produção de energia no processo chamado de co-geração energética. O termo co-geração envolve a produção combinada de calor útil e energia mecânica (para movimentar máquinas, equipamentos e turbinas de geração de energia elétrica), e consiste em um sistema padrão constituído de uma turbina a vapor que aciona um gerador de corrente elétrica e um trocador de calor através da queima do bagaço em caldeira (RIPOLI; RIPOLI, 2010).

Freitas (2001) já alertava que o bagaço era a fonte mais promissora para a geração de energia elétrica nas unidades industriais sucroalcooleira. O caminho estava traçado: a cana-de-açúcar é cultivada com sua finalidade tradicional de produção de açúcar e etanol, porém agora seu subproduto agrega uma nova fonte

de renda ao setor, pois a queima do bagaço em caldeira possibilita a geração de energia elétrica.

Assim, a biomassa de cana-de-açúcar passou a representar 15,4% da matriz energética nacional, perdendo apenas para o petróleo (EPE, 2013). Toda essa representatividade tornou esse processo irreversível, ou seja, a queima do bagaço de cana-de-açúcar em caldeira para a geração de energia passou a ser um ponto estratégico para o setor energético nacional. Para Oliveira e Ramalho (2006), a energia renovável deve ser consolidada como o grande negócio do século 21, cabendo à biomassa, papel de destaque nesse contexto, em particular à cana-de-açúcar.

Porém no processo de queima em caldeira a geração das cinzas é inevitável, sendo que esse fato cresce em importância quando os números do setor são apresentados. Segundo dados da CONAB (2014), a produção brasileira de cana na safra 2013/2014 foi de 658,82 milhões de toneladas, sendo a estimativa para a safra 2014/2015 de 671,69 milhões de toneladas. Souza et al. (2011) relatam que cada tonelada de cana processada gera 250 kg de bagaço, sendo que após a queima produz a cinza com rendimento de 10%, ou seja, 25 kg por tonelada de cana (DI PAULA et al., 2009). Isso aponta para um potencial de geração de cinzas da ordem de 16,5 milhões de toneladas.

Segundo Brunelli e Pisanni Júnior (2006), o destino corrente das cinzas de bagaço de cana-de-açúcar tem sido a sua utilização no solo nas áreas plantadas com cana-de-açúcar, e, afirmam também que são escassas avaliações sobre vantagens ou desvantagens de sua aplicação. Ressalta-se que os efeitos podem ocorrer no solo, na planta ou mesmo no rendimento industrial a partir da matéria-prima.

Discutindo as questões ambientais inerente ao setor sucroenergético, Rossetto (2010) argumenta que justamente pelo alto valor agregado e pela sua composição, os resíduos se constituem em matéria prima para outras atividades o que os caracterizam como subprodutos. A autora ressalta ainda que o fato de todo o resíduo gerado no processo industrial ser reutilizados no próprio processo produtivo é um exemplo a ser seguido no quesito gerenciamento ambiental.

Camargo et al. (1984) pregam que a disposição de resíduos de indústria no solo é uma alternativa muito interessante de descarte, podendo até ser econômica se tecnicamente bem manejada. Os autores argumentam que o conhecimento das relações entre os resíduos e o solo que os recebe é uma das primeiras e mais importantes fases para o conhecimento desse manejo.

Vários autores pregam o uso das cinzas do bagaço em mistura com cimento (ZARDO et al., 2004, CORDEIRO et al., 2009 e DI PAULA et al., 2009); e outros em misturas cerâmicas (BORLINI et al., 2006). Entretanto, tais destinações, na maioria das vezes, envolvem negociação entre diferentes indústrias, localizadas em regiões distantes, envolvendo uma logística complicada. Essa situação muda quando da destinação das cinzas no solo cultivado com cana-de-açúcar, sempre próximas às unidades industriais.

2.2. Características das cinzas

Em geral as cinzas possuem propriedades alcalinas e alguns nutrientes essenciais às plantas (AUGUSTO; BAKKER; MEREDIEU, 2008; BASU et al., 2009; DEMEYER; NKANA; VERLOO, 2001; FERREIRA; FAGERIA; DIDONET, 2012). Quanto à cinza do bagaço de cana-de-açúcar, predominam em sua composição K, Ca, Mg e em menores teores, o P (CORDEIRO et al., 2009) e esses nutrientes apresentam diferentes solubilidades no solo, podendo ser agrupados em três classes: alta solubilidade (K e S); solubilidade média (Ca e Mg), e baixa solubilidade (P), como verificado em cinza de madeira (AUGUSTO; BAKKER; MEREDIEU, 2008).

Segundo Demeyer et al. (2001) no processo de combustão da biomassa, grande parte do N é perdido na forma de gases, resultando em teores muito baixos desse elemento das cinzas (BASU et al., 2009).

Anguissola et al. (1999) citam que as cinzas de caldeira constituem-se em importantes resíduos orgânicos capazes de fornecer quantidades significantes de nutrientes às plantas, como por exemplo Na, Mg, S, P, K, Fe, Mn, Zn e Cu. Basu et al. (2009) relatam que, em geral, as cinza contém elementos como Ca, Fe, Mg e K,

essenciais para o crescimento das plantas, mas também outros elementos e metais que podem ser tóxicos para as plantas; pois as bases presentes nas cinzas, reagem prontamente com componentes ácidos no solo levando à liberação de nutrientes, como o B na forma favorável para plantas cultivadas. Warambhe et al. (1993) relatam quantidade insignificante de sal solúvel e carbono orgânico e quantidades adequadas de K, CaO, MgO, Zn e Mo; porém, alertam que altas doses de cinzas podem fornecer quantidades tóxicas de B.

Segundo Ukwattage et al. (2013), a fitotoxicidade de alguns nutrientes para as plantas, em razão da adição de cinzas tornou-se um dos principais problemas que limitam seu uso potencial no solo agrícola. A utilização de cinzas em doses elevadas pode ainda contaminar o solo com As, Cu, Zn, Pb, Ni, Cr, Se e outros (RAUTARAY et al. 2003, LEE et al. 2006 e ADRIANO et al. 2002). Pandey e Singh (2010) citam a redução da biodisponibilidade de alguns nutrientes, elevação de salinidade e a presença de elementos fitotóxicos como os principais problemas do uso das cinzas.

Entretanto, Brunelli e Pisanni Júnior (2006) concluíram que a cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBC) é fonte de macro e micronutrientes essenciais para a produção agrícola, sendo o potássio o principal elemento. Além disso, afirmam que se trata de um produto ambientalmente seguro, pois as quantidades de metais pesados, dioxinas, furanos adicionados no sistema dentro das dosagens normalmente recomendadas não são suficientes para provocar danos ao solo e ao lençol freático.

Conforme dados de Basu et al. (2009), a densidade das cinzas, de modo geral, está entre 1,01 a 1,43 g cm⁻³; muito próximo da densidade do solo.

2.3. Efeitos das cinzas nos atributos químicos do solo

Em decorrência das características de cada tipo de cinza, os efeitos provocados no solo variam de acordo com o material queimado, com a dose aplicada e com a cultura explorada. De modo geral, os efeitos mais relatados na bibliografia são a redução da acidez do solo e a elevação dos teores de K.

Segundo Yamane (2013), a cinza do bagaço de cana-de-açúcar foi caracterizada principalmente como uma fonte de potássio, e por isso, os teores de potássio trocável no solo aumentaram linearmente em função do incremento das doses da cinza de 0 a 40 t ha⁻¹ em solo cultivado com laranjeiras. Esse efeito do K ocorre em decorrência da dissolução dos sais presentes nas cinzas, liberando inicialmente o K para a solução, sendo que Augusto, Bakker e Meredieu (2008) relatam que a disponibilidade do K no solo pode ser modificada no curto prazo. A elevação da concentração de K na solução do solo é um importante efeito da aplicação da cinza de madeira em solos tropicais ácidos (NKANA; DEMEYER; VERLOO, 2002).

Utilizando doses de 0; 10; 20; 40 e 80 t ha⁻¹ de cinza de caldeira da biomassa vegetal, Maeda et al. (2008), concluíram que aplicação da cinza diminuiu a acidez e o teor de Al em solo argiloso, e aumentou os teores de Ca, Mg, K e P, com efeitos mais pronunciados na camada de 0 a 10 cm; mostrando que o resíduo pode ser importante fornecedor desses nutrientes para a cultura do Pinus.

Um dos efeitos principais do uso de cinzas no solo seria o desequilíbrio dos nutrientes no solo (NKANA et al., 2002; PARK et al., 2004), uma vez que, geralmente, um elemento se destaca dentre os demais em termos de concentração, podendo ocorrer a elevação de apenas um elemento em detrimento aos demais como constataram Darolt, Blanco Neto e Zambon (1993), que ao avaliarem o efeito de doses de cinza vegetal (0,10, 15, 20 e 30 t ha⁻¹) nos atributos químicos de um solo argiloso verificaram que doses crescentes da cinza levaram ao desbalanceamento entre os cátions. Isso ocorreu principalmente em relação ao potássio, uma vez que por ser um dos principais constituintes da cinza, a elevação de seus teores foi acentuada frente aos demais cátions.

Usando cinzas de termoelétricas, Lee et al. (2006) observaram aumento nos teores de K e P no solo. De acordo com Khan e Khan (1996), um aumento gradual na porcentagem em volume de cinzas de termoelétricas no solo de 0, 10, 20 até 100%, levou a aumento do pH, melhorando a disponibilidade de P, K, Ca, Mg, Mn, Cu, Zn e B. Eles também relatam que a adição de cinzas diminuíram as quantidades de Fe, Mn, Ni, Co e Pb liberados quando o solo estiver ácido.

Para Ukwattage et al. (2013), as cinzas de termoelétricas podem se fonte de quase todos nutrientes essenciais e é eficaz na melhorias das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, além do desempenho e crescimento das plantas e, também no rendimento das culturas. Outro efeito nas propriedades do solo amplamente relatada na bibliografia é a elevação do pH do solo (MITTRA et al. 2005; BLISSETT; ROWSON, 2012; PANDEY; SINGH, 2010).

Segundo Oliveira et al. (2006), 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, funcionando, desse modo, como corretivo e como fertilizante, cujos efeitos podem diferir dependendo do tipo de solo. Augusto; Bakker e Meredieu (2008) relatam em seu trabalho a capacidade das cinzas de neutralização e elevação do pH do solo. Segundo os autores, essas características resultam em modificações bioquímicas de solos que receberam cinzas. No curto prazo, a composição da solução do solo é drasticamente modificada, e se observa picos intensos de K, Na e SO₄, resultante da dissolução de sais presentes nas cinzas. Ao mesmo tempo, Ca e Mg com o aumento da associação de carbonato de cinzas de madeira começam a dissolver-se. A consequência deste processo de dissolução é aumento no pH.

2.3. Efeito das cinzas nos atributos físicos do solo

O potencial das cinzas para alterar as características físicas de um solo decorre do tamanho das partículas de cinza e do teor de cálcio (SALE; CHANASYK; NAETH, 1997). Quando adicionado ao solo, dependendo da quantidade, a textura do solo pode ser alterada. Watson (1994) observou alterações na textura através da adição de cinzas. A aplicação de cinzas a uma taxa de 70 ton ha⁻¹ alterou a textura de solo arenoso para argiloso (FAIL; WOCHOC, 1977) Devido à elevada percentagem de partículas com tamanho equivalente ao silte, aplicações em larga escala tendem a mudar a textura do solo.

Teoricamente, as cinzas que possuem baixa densidade podem alterar a densidade do solo em uma mistura (PANDEY; SINGH, 2010). Campbell et al. (1983)

observaram um aumento na densidade do solo até uma taxa de adição de cinzas de 20% em volume, sendo que misturas acima dessa passou a diminuir a densidade .

Resultados semelhantes foram obtidos por Sale et al. (1997) que observou uma tendência de aumento da densidade do solo até 25% em volume. Em ambos os casos, mais de 50% em volume de cinzas foi necessário para alcançar uma densidade mais baixa do que a do solo original. Contudo, Sale et al. (1997) concluíram que a densidade tende a diminuir ao longo do tempo após a aplicação . O Ca^{2+} da cinza promove floculação entre as partículas do solo e estabiliza a estrutura do solo através de cátions de transição, particularmente em solos argilosos Sale et al. (1997) demonstraram que a adição de cinza aumentou a agregação do solo. Os solos que receberam cinzas também são mais friáveis e menos suscetíveis a compactação quando seco (FAIL, WOCHOC, 1997). Porém, para Warambhe et al. (1993) as baixas concentrações de carbono orgânico nas cinzas são responsáveis por eventuais ausência de efeitos nas propriedades físicas do solo.

Yamane (2013), utilizando CBC, não encontrou efeito da dose de cinzas nas propriedades físicas do solo, assim como Volante (2013). Porém, Basu et al. (2009) relatam que vários experimentos avaliaram as propriedades físicas do solo quando misturado com até 50% de cinzas. Os autores concluíram que o solo misturado com cinzas tende a menor densidade, maior porosidade, menor resistência ao crescimento das raízes e maior capacidade de retenção de água. Os autores ainda citam Prabhakar et al. (2004) que obtiveram redução de 15 a 20% na densidade do solo com a adição de cinzas em proporções superiores 46% em volume.

2.4. Atributos químicos do solo e produtividade de cana-de-açúcar

O uso de resíduos no solo acaba por fornecer nutrientes em quantidades significativas ao solo, podendo levar à elevação dos teores de determinados elementos no solo. Assim, se faz necessárias culturas com capacidade de extração suficiente para evitar o acúmulo desses nutrientes no solo evitando o desequilíbrio nutricional. A cana-de-açúcar é uma cultura que exerce grande pressão sobre a fertilidade do solo pela sua capacidade de extrair nutrientes do solo. A quantidade de nutrientes extraída por uma tonelada de cana é de 1,20; 0,36; 1,48; 1,12; 0,68 e 0,36

kg de N, P_2O_5 , K_2O , CaO, MgO e S, respectivamente (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997); ou ainda 2,1 Kg de K_2O por tonelada de cana (KONDORFER; OLIVEIRA, 2005). O potássio é o nutriente mais extraído do solo seguido pelo nitrogênio (ORLANDO FILHO et al., 1980; COLETI et al. 2006 e FRANCO et al. 2007). A quantidade de nutrientes extraídas pela cana-de-açúcar varia muito, principalmente quando se compara variedades diferentes (OLIVEIRA et al. 2010). Algumas variedades de cana-de-açúcar como a SP81-3250, exigentes em fertilidade do solo, chegam a extrair em torno de 400 kg ha^{-1} de potássio (FRANCO et al. 2008).

No contexto da aplicação das cinzas no solo, o potássio aparece como o nutriente de destaque dentre os macronutrientes primários. A dinâmica do K no solo é simples: o K do solo é formado pelo K da solução, K trocável, K não trocável (fixado) e o K estrutural; e, o suprimento de K para as plantas advém da solução e dos sítios de troca dos colóides do solo, que estão em equilíbrio com o K não trocável e com o K estrutural dos minerais (OTTO et al., 2010). Segundo Raij (1991), o teor trocável é a principal fonte de reposição do K para a solução, o qual, por sua vez, pode ser absorvido pelas plantas, adsorvido às cargas negativas do solo ou perdido por lixiviação.

O potássio tem inúmeras funções nas plantas: ativação enzimática na fotossíntese e respiração, síntese de proteína, carboidratos, regulação osmótica, abertura e fechamento de estômatos, resistência a planta à pragas e doenças (ERNANI et al. 2007).

A cana-de-açúcar responde de maneira intensiva a aplicação de K (ROSSETO et al., 2004), porém Castro e Meneghelli (1989) verificaram que alguns solos com teores baixos de K trocável não respondem significativamente à adubação potássica, enquanto outros, com teores considerados satisfatórios de K, respondem à aplicação de adubo potássico.

O nível crítico de potássio no solo, segundo Raij (1974), é de $2,1 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de K. Posteriormente, Orlando Filho et al. (1981) obtiveram nível crítico de $2,3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de K, enquanto Rodella et al. (1983) sugeriram $2,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no solo para produção relativa de 90 %. Chalita (1991) em 35 experimentos determinou níveis críticos de $1,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para cana-planta e $1,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para cana-soca.

Porém, diversos autores relatam ganhos de produtividades com doses de K_2O crescentes. Trabalhando com doses de até 200 kg ha^{-1} de K_2O em um Latossolo Vermelho distroférico arenoso, com teores muito baixos de K trocável, Lana et al. (2004) observaram efeito linear na produtividade da cana-de-açúcar e nos teores de pol % cana.

Orlando Filho et al. (1993) observaram em áreas mais produtivas que a saturação do potássio na CTC sempre foi superior a 5%, e Rossetto et al. (2004) verificaram resposta à adubação potássica em 7 de 10 avaliações, o que mostra que a resposta a adição de potássio não é certa, e depende de fatores além da quantidade de K_2O adicionada.

Segundo Rosseto et al. (2004), o efeito do K na produtividade da cana-de-açúcar é mais certo na presença de Mg, pois esse elemento influi na resposta da cana-de-açúcar às adições de potássio. Os autores citam Silveira et al. (1980) que utilizaram quatro doses de K e dois tipos de calcário em Latossolo Vermelho-Escuro e observaram que o potássio apresentou resposta em doses menores na presença de calcário calcítico e em doses maiores na presença de dolomítico, atribuindo a necessidade de manter uma adequada relação $K/(Ca + Mg)$. Já Orlando Filho et al. (1996) estudou as relações entre Ca, Mg e K e a produtividade da cana. As relações referentes à alta produtividade da cana indicaram $Ca/K < 6$ e $K/(Ca+Mg)^{0.5} > 0,19$.

Azeredo et al. (1986), pesquisando a bibliografia, indicou que, de 135 experimentos analisados, houve resposta ao N em cana-planta em apenas 19% deles. Em cana planta, Raij et al. (1996) recomenda doses de N da ordem de 30 kg ha^{-1} , porém em cana soca a dose varia com a produtividade entre 60 e 120 kg ha^{-1} . Percebe-se que doses menores de N na implantação da cultura é prática recomendada pela própria pesquisa. Nenhum autor pesquisado no presente trabalho relata condição satisfatória de fornecimento de N às culturas via cinzas.

2.5. Atributos de qualidade da matéria prima

Os colmos de cana-de-açúcar possuem composição similar àquela proposta por Lavanholi (2010) representada na figura 1.

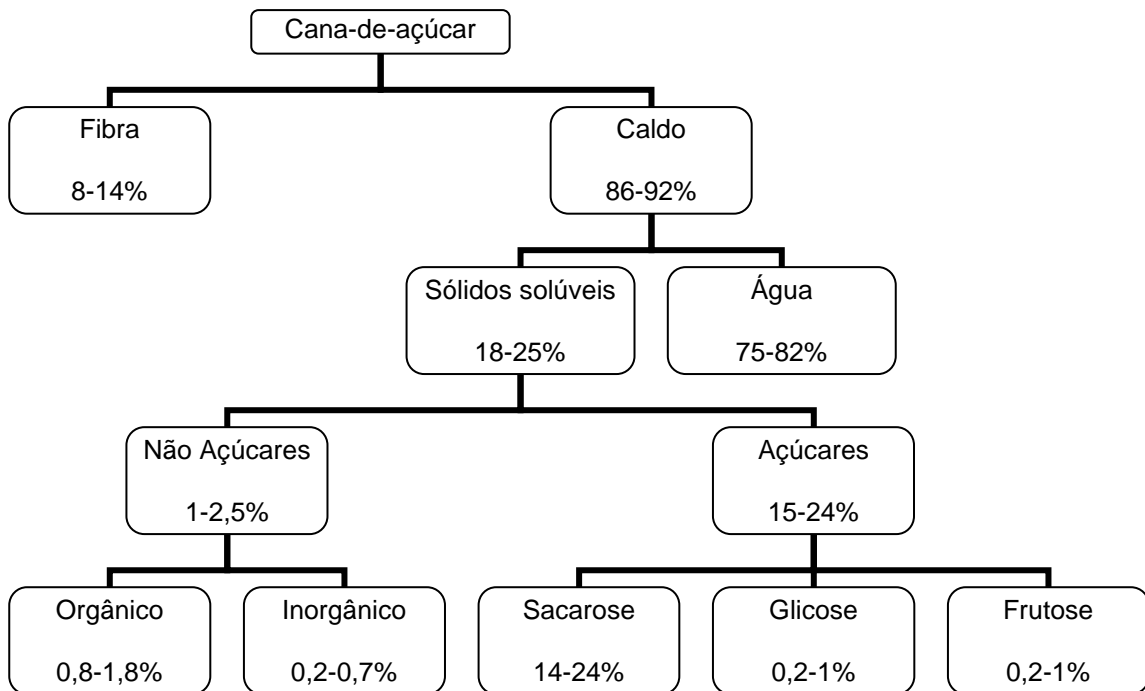


Figura 1. Composição tecnológica da Cana-de-açúcar (LAVANHOLI, 2010)

Após a colheita, os colmos industrializáveis são encaminhados para o processo industrial e algumas análises são realizadas visando sua caracterização tecnológica, que interfere diretamente no rendimento industrial (LAVANHOLI, 2010). Essas determinações são interpretadas quanto à qualidade da matéria prima

Segundo Fernandes (2000), POL (pol%caldo) representa a porcentagem aparente de sacarose contida numa solução de açúcares, sendo determinado por método sacarimétrico; o brix (brix%caldo) é o parâmetro mais utilizado pela indústria, e expressa a relação peso/peso (ou porcentagem) dos sólidos solúveis contidos em uma solução pura de sacarose, ou quando medido no caldo da cana-de-açúcar, apresenta a porcentagem presente de sólidos no caldo e é determinado por refratometria.

A Pureza é a porcentagem de sacarose contida nos sólidos solúveis. Trata-se de um atributo calculado, sendo determinada pela relação percentual POL/Brix. Quanto maior a pureza da cana, melhor a qualidade da matéria-prima para se recuperar açúcar. Todas as substâncias que apresentam atividade óptica podem interferir na POL, como açúcares redutores (glicose e frutose), polissacarídeos e

algumas proteínas, e Fibra é a matéria insolúvel em água contida na cana (FERNANDES, 2000). Interessante ressaltar que a fibra está relacionada com o bagaço, que após a combustão em caldeira, gera as cinzas.

Açúcar redutor é a quantidade de glicose e de frutose presentes na cana, que afetam diretamente a sua pureza, já que refletem em uma menor eficiência na recuperação da sacarose pela fábrica (Ripoli; Ripoli, 2004). Segundo Costa et al. (2011), a porcentagem de sacarose bruta (PCC) representa o quanto de sacarose está presente nos sólidos solúveis do caldo. Dos atributos analisados, o açúcar total recuperável (ATR) é o mais importante tanto para indústria quanto para os produtores, pois em função dele é que as unidades industriais elaboram o preço pago aos produtores, seguindo uma metodologia descrita pela CONSECANA (2006)

Freire e Cortez (2000) alertam para modificações na fisiologia da cana-de-açúcar em decorrência da utilização de alguns resíduos, como a vinhaça, que acabam interferindo no rendimento industrial. Segundo Rosseto et al. (2010), o excesso de potássio não é desejado no processo industrial de fabricação do açúcar, pois como é constituinte das cinzas, quando em alta concentração no caldo, dificultam a cristalização em função da formação de núcleos falsos, reduzindo o rendimento industrial. Zambello Junior e Orlando Filho (1979) verificaram que o aumento de potássio induziu maior teor de cinzas na fabricação do açúcar. Quando aplicado como fertilizante químico, o potássio praticamente não afeta o acúmulo de açúcares como observou Orlando Filho et al. (1980). Porém há relatos de menores concentrações de sacarose na planta e atraso na maturação em decorrência do uso da vinhaça (ROSSETO et al. 2010), resíduo que como a cinza, apresenta teor de potássio acima dos outros macronutrientes.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Implantação do experimento

A área experimental localizou-se em Itajobi (SP), cuja altitude local é de 500 m, com latitude de 21° 27' 34" S e longitude de 49° 04' 35" O, com relevo suave ondulado. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, com precipitação pluvial acumulada média anual de 1.246 mm, concentrada no período de outubro a março, com temperatura média anual de 22,4°C (Figura 2).

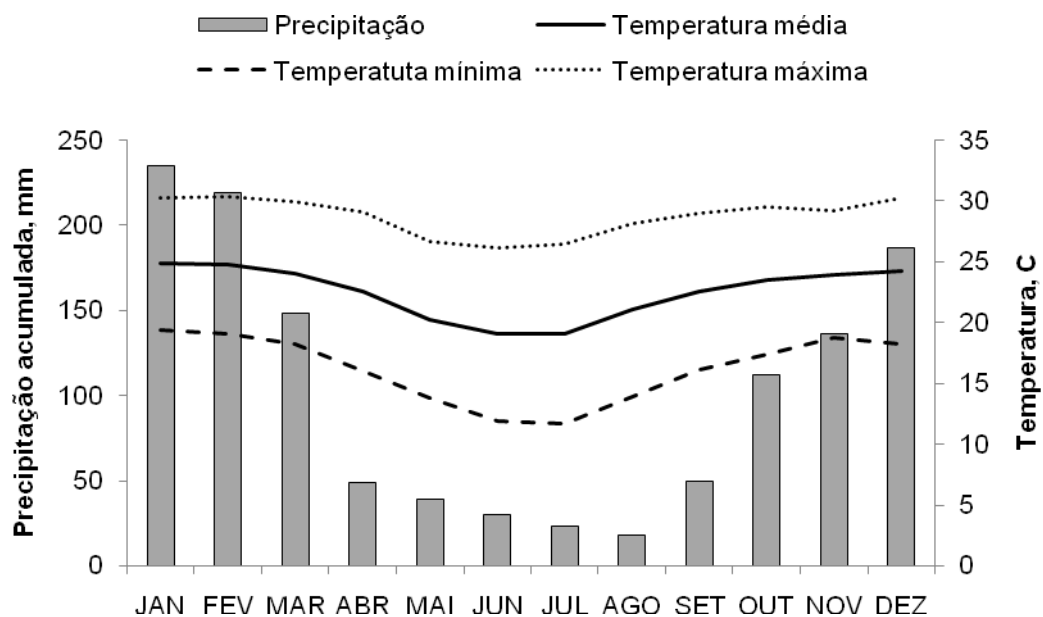


Figura 2. Valores médios mensais de temperatura do ar e de precipitação pluvial acumulada em Itajobi

O solo se enquadra, conforme critérios do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2013), como Latossolo Vermelho-Amarelo, textura média, apresentando teor de argila de 200 g kg⁻¹ no horizonte A (0,0 a 0,25 m), 230 g kg⁻¹ no horizonte B1 (0,25 a 0,50 m) e 250 g kg⁻¹ no horizonte B2 (0,50 a 1,00 m). Quando da implantação da cultura em 2010, utilizou-se calcário (PRNT 78%) em

dose de 900 kg ha⁻¹ e gesso agrícola na dose de 1.500 kg ha⁻¹ e 18, 135 e 45 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O

Em outubro de 2011, os atributos do solo na camada de 0-20 cm de profundidade foram: pH(CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹) 5,1; carbono orgânico 15 g kg⁻¹; P(resina) 7 mg dm⁻³; K 0,5; Ca 12; Mg 4; acidez potencial 13; CTC 30, em mmol_c dm⁻³, saturação por bases 56%. Por ocasião da instalação do experimento, o solo encontrava-se com cana-de-açúcar (variedade RB 86 7515) em primeiro corte e sem histórico de aplicação de resíduos.

Em 2011, na mesma gleba e em áreas adjacentes foram implantados dois experimentos: um deles consistia na aplicação da CBC em cobertura na linha da cultura (sobre a soqueira) e o outro com a aplicação a lanço e posterior incorporação com grade aradora (reforma de canavial). Os experimentos foram instalados em blocos casualizados, com cinco tratamentos e quatro repetições. Nos dois casos, os tratamentos constituíram-se da aplicação de cinco doses de cinza de bagaço de cana-de-açúcar no solo (0, 5, 10, 20 e 40 Mg ha⁻¹ para base seca) sem parcelamento, apenas na implantação do experimento. A maior dose utilizada (40 Mg ha⁻¹) foi determinada em função de sua exequibilidade, sendo essa a maior quantidade possível de ser aplicada com os existentes implementos agrícolas.

No experimento referente à aplicação a lanço, a soqueira existente foi destruída, o solo nivelado com o uso de grade e a cinza (figura 3) foi distribuída uniformemente na superfície do solo (figura 4 e 5), sendo que posteriormente, as cinzas foram incorporadas por meio de grade aradora. Para garantir a uniformidade da aplicação da cinza as parcelas foram quadriculadas com estacas e linhas a cada 1 metro (figura 4). Após a incorporação da CBC, a área foi sulcada e um novo canavial foi plantado em novembro de 2011.



Figura 3. Aspecto geral da cinza utilizada



Figura 4. Metodologia utilizada para aplicação em área total antes da incorporação (cana planta)

Quando da aplicação da CBC em cobertura na linha da cultura (figura 6), a mesma foi realizada sobre a soqueira logo após o 1º corte. A aplicação em cobertura na linha da soqueira ocorreu em novembro de 2011.

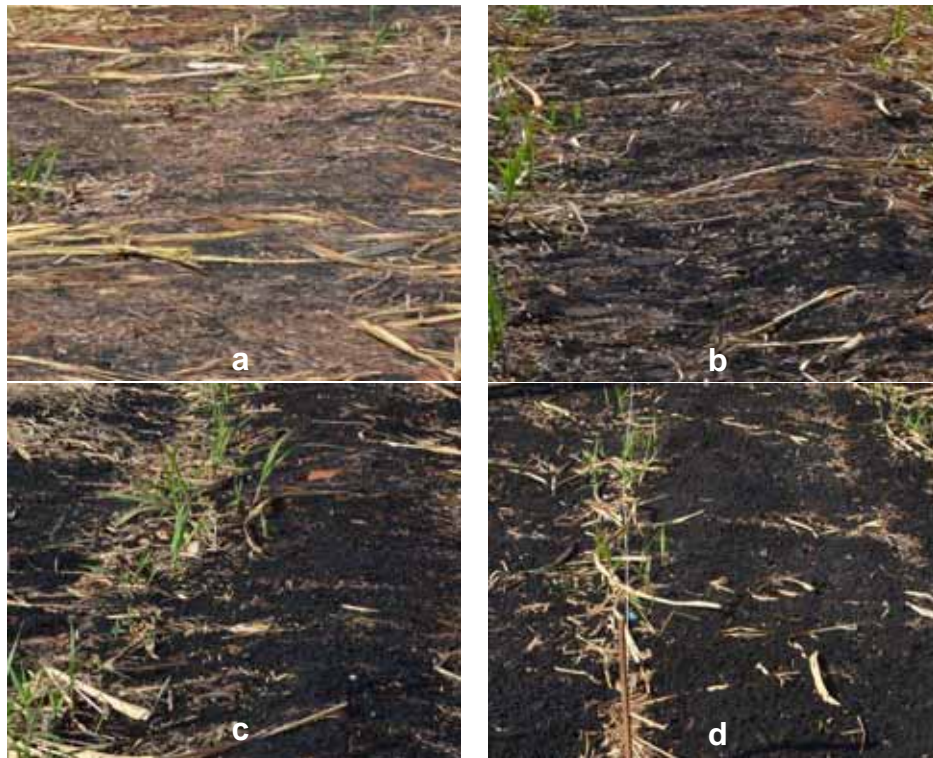


Figura 5. CBC aplicada a lanço (cana planta) antes da incorporação nas doses 5, 10, 20 e 40 Mg ha^{-1} (a, b, c, d respectivamente)

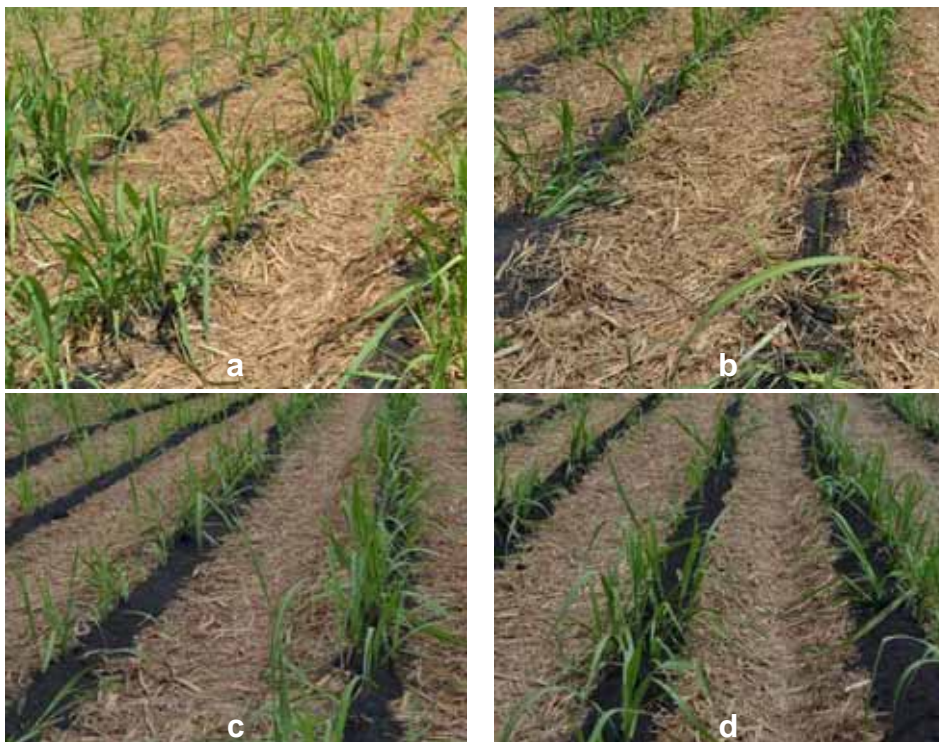


Figura 6. CBC aplicada na linha nas doses 5, 10, 20 e 40 Mg ha^{-1} (a, b, c, d respectivamente)

As parcelas experimentais possuíam 8 linhas espaçadas com 1,5 metro e com 15 metros de comprimento, totalizando uma área de 180m², sendo a área útil constituída das quatro linhas centrais com comprimento de dez metros, que totalizou 60 m² (figura 7).

3.2. Caracterização das cinzas

A caracterização da cinza da queima do bagaço da cana seguiu a norma NBR 10004 (ABNT, 2004), que classificam o resíduo em função de suas características e grau de periculosidade. Os resultados obtidos classificaram a cinza de bagaço de cana-de-açúcar como “resíduo não inerte classe II A”. A CBC foi submetida a análises químicas conforme metodologia descrita por Vieira e Silva (2009) para a caracterização da cinza como e fertilizante (Tabela 1) e a determinação do poder de neutralização resultou em 2,63%.

Tabela 1. Resultados analíticos da cinza do bagaço de cana-de-açúcar, visando caracterização como fertilizante.

Atributos	Teores (g kg ⁻¹)
K ₂ O	2,7
Ca	1,2
P ₂ O ₅ total	1,2
Mg	0,7
S	0,3
Mn	0,1
B	0,02
Zn	0,01
Co	<0,0009
Mo	<0,0001
Cu	<0,0,01
Fe	2,8

3.3. Tratos culturais

Para o experimento cuja CBC foi aplicada a lanço e incorporada posteriormente os tratos culturais consistiram no uso de 13 (N); 33 (P_2O_5) e 53 (K_2O) $kg\ ha^{-1}$, em adubo formulado no ano 1 e 80 (N) e 64 (K_2O) $kg\ ha^{-1}$ em adubo líquido (uréia e cloreto de potássio) no segundo ano.

Para o experimento com aplicação de CBC na linha da cultura em cana-soca, optou-se pela aplicação de 100 (N) e 80 (K_2O) $kg\ ha^{-1}$ adubo líquido (uréia e cloreto de potássio) no ano 1 e 80 (N) e 64 (K_2O) $kg\ ha^{-1}$ na mesma forma no ano 2.

Os demais tratos culturais foram realizados igualmente nos dois experimentos. Em dezembro/2011 o controle de plantas daninhas foi realizado com Provence 750 WG (Isoxaflutol) na dose de 0,15 $kg\ p.c.\ ha^{-1}$ e Combine 500 SC (tebutiurum) na dose 1,6 litros p. c. ha^{-1} . No ano de 2012, utilizou-se Provence 750 WG (Isoxaflutol) na dose de 0,10 $kg\ p.c.\ ha^{-1}$ e Fortaleza BR (tebutiurum) na dose 1,3 litros p.c. ha^{-1} .

Em agosto/2013 foi necessário o controle de cigarrinha das raízes (*Mahanarva fimbriolata*) utilizando-se Curbix 200 SC (Etiprole) na dose de 2,5 l p.c. ha^{-1} .

3.4. Atributos avaliados

3.4.1. Produtividade

Em outubro de 2012 (ano 1) e em setembro de 2013 (ano 2), avaliou-se a produtividade da cana de açúcar. Após a colheita, os colmos foram despalhados e despontados até aproximadamente a altura da gema apical e pesados.

Após a colheita e a despalha dos colmos, a produção de cada parcela foi levada pela carregadeira (Figura 8) ao transbordo que estava sobre a balança tipo rodoviária portátil da marca Alfa Instrumentos (Figura 9).



Figura 7. Área útil das parcelas



Figura 8. Procedimento de pesagem



Figura 9. Pesagem dos colmos de cana-de-açúcar de cada parcela

3.4.2. Fertilidade do solo

Após a colheita em cada ano de avaliação, em cada parcela, retiraram-se nove sub-amostras de solo nas linhas da cultura com trado holandês nas camadas de 0-0,1 e 0,1-0,2 m de profundidade. O solo foi encaminhado para os procedimentos laboratoriais para determinações de $\text{pH}(\text{CaCl}_2)$, teores de P(resina), Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ trocáveis, acidez potencial ($\text{H}+\text{Al}$), S-SO_4^{2-} , C orgânico, B, Cu, Fe, Mn, Zn, de acordo com procedimentos descritos por Raij et al. (2001).

3.4.3. Física do solo

Em setembro de 2013, 23 meses após o plantio, foram coletadas amostras de solo com estrutura preservada com o auxílio de amostradores do tipo Ulhand e anéis volumétricos (0,052 m de altura e 0,048 m de diâmetro) em número de três

replicações por parcela na exata profundidade de um anel (Figura 10) para a determinação da densidade do solo (Blake; Hartge, 1986), porosidade total, macro e microporosidade, pelo método da mesa de tensão descrito em Embrapa (1979).



Figura 10. Coleta das amostras indeformadas

3.4.4. Atributos tecnológicos

Por ocasião da colheita, para a avaliação da qualidade da matéria-prima, realizou-se coleta de dez colmos em sequência em uma das linhas da parcela útil, os quais foram despalhados e despontados. Após desintegração e homogeneização dos colmos, uma amostra de aproximadamente 0,5 kg foi submetida à prensa hidráulica, de acordo com o método de Tanimoto (1964). O caldo extraído foi utilizado para as seguintes determinações conforme CONSECANA (2006): teores de sólidos solúveis (Brix) e sacarose, pureza do caldo, porcentagem de açúcares redutores, porcentagem de açúcar bruto (PCC), fibra industrial açúcar total recuperável (ATR), segundo metodologia proposta pelo sistema de pagamento de cana pelo teor de sacarose.

3.4.5. Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (Teste F), considerando o nível de significância de 5% de probabilidade. Para os atributos químicos do solo, a análise de variância seguiu delineamento em blocos casualizados, com parcela subdivididas, sendo as doses de cinza os tratamentos principais e as camadas de solo, os tratamentos secundários. Para as variáveis de produtividade e os atributos tecnológicos, a análise de variância seguiu delineamento em blocos casualizados. Os efeitos das doses de cinza, quando significativos, foram avaliados por meio de regressão polinomial, até 5% de probabilidade, adotando-se como critério de seleção do modelo ajustado, a significância do maior grau limitado ao segundo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Atributos químicos do solo

4.1.1. Cinza em linha

Em 2012, no primeiro ano após a implantação do experimento, a análise de variância detectou efeito significativo da adição em cobertura de CBC no solo para pH, acidez potencial, potássio e saturação por bases (Tabela 2).

Tabela 2. Atributos químicos do solo em função de doses de CBC aplicadas na linha da cultura em cobertura, nas camadas 0,0-0,1 e 0,1-0,2 m em 2012.

Fontes de variação	pH (CaCl ₂)	P resina ----mg dm ⁻³ ----	S-SO ₄ g dm ⁻³	CO g dm ⁻³	Ca ²⁺ -----	Mg ²⁺ -----	K ⁺ -----	Na ⁺ -----	H+Al -----	SB -----	CTC -----	V %
Doses (D) Mg ha ⁻¹												
0	5,2	10	4	10	22	5	0,6	0,3	20	28	48	59
5	5,7	10	8	10	34	8	0,5	0,3	17	43	59	70
10	5,8	11	6	10	33	12	0,7	0,4	16	46	62	72
20	6,0	8	7	10	36	11	1,0	0,4	13	49	62	76
40	6,0	15	6	11	37	14	1,0	0,5	14	52	66	78
F _{doses} ⁽¹⁾	3,17*	2,68 ^{ns}	1,08 ^{ns}	0,95 ^{ns}	1,12 ^{ns}	1,32 ^{ns}	10,82**	2,11 ^{ns}	3,68*	1,2 ^{ns}	0,86 ^{ns}	3,29*
Cv(%) ⁽²⁾	8,4	48,9	75,5	9,0	49,8	82,9	24,5	42,3	24,0	54,6	35,0	16,8
Prof. (P) m												
0,0-0,1	5,8	14	5	10	33	11	0,93	0,4	14	45	60	74
0,1-0,2	5,6	11	7	9	32	12	0,62	0,4	17	42	60	68
F _{prof.} ⁽¹⁾	8,54**	11,49**	1,26 ^{ns}	16,8**	0,30 ^{ns}	0,57 ^{ns}	108,79**	0,04 ^{ns}	16,59**	0,53 ^{ns}	0,02 ^{ns}	8,35*
Interação DXP												
F _{interação}	0,14 ^{ns}	1,42 ^{ns}	1,15 ^{ns}	0,62 ^{ns}	0,67 ^{ns}	0,49 ^{ns}	3,29**	1,38 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,66 ^{ns}	1,03 ^{ns}	0,24 ^{ns}
Cv(%) ⁽²⁾	4,0	21,3	69,5	5,1	25,2	26,8	12,0	20,6	14,3	24,2	15,0	10,2

(1): * = significativo a 5% de probabilidade; ** = significativo a 1% de probabilidade; ^{ns} = não significativo a 5% de probabilidade; (2): coeficiente de variação.

Foram observados aumentos no pH, saturação por bases e K, e também redução da acidez potencial em função das doses crescentes de CBC.

No segundo ano de avaliação, a adição de cinza no solo também influenciou significativamente o pH, acidez potencial, saturação por bases (Tabela 3) mostrando efeito residual da cinza nesses atributos.

Tabela 3. Atributos químicos do solo em função de doses de cinza CBC aplicadas na linha da cultura em cobertura, nas camadas 0,0-0,1 e 0,1-0,2 m em 2013

Fontes de variação	pH (CaCl ₂)	P resina ----mg dm ⁻³ ----	S-SO ₄ g dm ⁻³	CO g dm ⁻³	Ca ²⁺ -----	Mg ²⁺ -----	K ⁺ mmol _c dm ⁻³ -----	Na ⁺ -----	H+Al -----	SB -----	CTC -----	V %
Doses (D) Mg ha ⁻¹												
0	5,2	12	3	8	25	7	0,6	0,3	19	33	52	62
5	5,5	8	7	8	32	8	0,8	0,3	18	41	60	66
10	5,7	10	4	8	36	15	0,7	0,4	16	53	69	69
20	5,6	17	4	9	27	9	1,1	0,4	16	38	53	71
40	5,9	18	4	9	32	15	0,9	0,4	15	50	65	72
F _{doses} ⁽¹⁾	48,06 ^{**}	1,73 ^{ns}	1,64 ^{ns}	0,22 ^{ns}	1,34 ^{ns}	2,17 ^{ns}	1,13 ^{ns}	5,83 ^{ns}	14,67 [*]	1,62 ^{ns}	1,29 ^{ns}	5,75 [*]
Cv(%) ⁽²⁾	1,6	74,3	89,2	12,2	35,8	72,1	59,1	21,2	7,8	43,0	29,8	6,8
Prof. (P) m												
0,0-0,1	5,7	15	5	9	32	11	1,0	0,4	16	45	61	72
0,1-0,2	5,4	11	4	8	29	10	0,7	0,3	18	42	59	64
F _{prof.} ⁽¹⁾	3,90 ^{ns}	2,15 ^{ns}	1,03 ^{ns}	5,31 [*]	0,07 ^{ns}	0,07 ^{ns}	3,40 ^{ns}	4,57 [*]	6,70 [*]	0,20 ^{ns}	0,03 ^{ns}	4,34 [*]
Interação DXP												
F _{interação}	0,04 ^{ns}	1,02 ^{ns}	0,85 ^{ns}	5,50 [*]	0,54 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,15 ^{ns}
Cv(%) ⁽²⁾	8,1	73,4	22,9	5,2	97,7	97,7	18,7	22,9	18,7	65,5	43,0	17,2

⁽¹⁾: * = significativo a 5% de probabilidade; ** = significativo a 1% de probabilidade; ^{ns} = não significativo a 5% de probabilidade; ⁽²⁾: coeficiente de variação.

Pela regressão (Figura 11), o maior valor de pH, 6,1; ocorre para a dose de 28,5 Mg ha⁻¹ para o primeiro ano, e, para essa mesma dose no segundo ano, o pH seria de 5,8; mostrando que apesar do efeito residual na correção da acidez, o pH no ano seguinte para uma mesma dose é menor, porém maior que o tratamento controle. A elevação do pH em decorrência de doses crescentes de cinzas é

amplamente relatado na bibliografia (AUGUSTO; BAKKER; MEREDIEU, 2008; OLIVEIRA et al. 2006; ARSHAD et al. 2012; PARK et al. 2012).

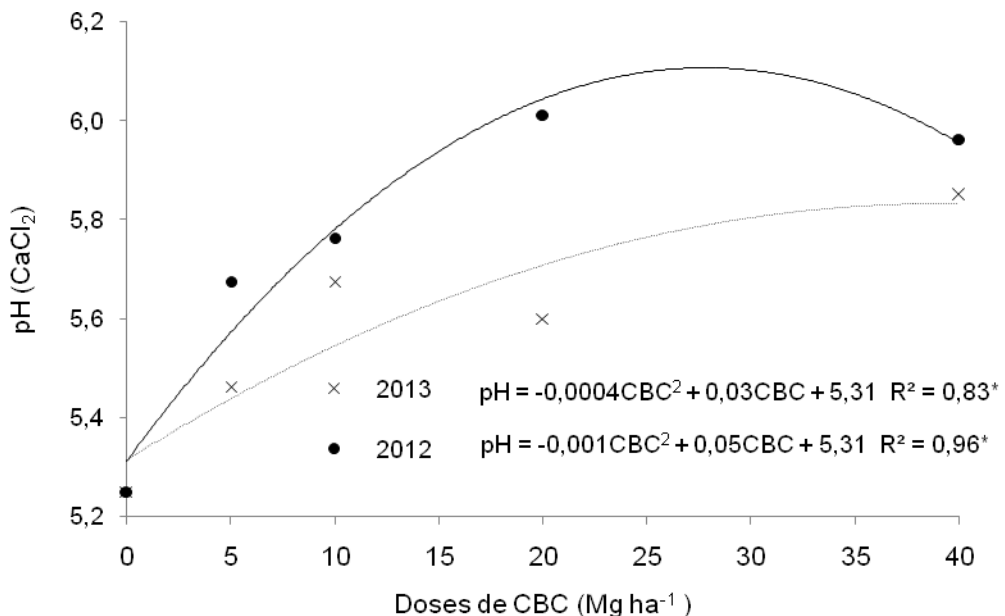


Figura 11. pH do solo em decorrência da aplicação de CBC na linha da cultura em cobertura nos dois anos avaliados

Apesar do baixo poder de neutralização apresentado pela cinza avaliada (2,63%), houve efeito significativo no pH. A aplicação da CBC em linha sobre a soqueira resulta em uma concentração do material bem superior que caso aplicada em área total. Considerando a faixa de aplicação das cinzas de 0,25 metros (Figura 6), e o espaçamento entre linhas de 1,5 m; a área de aplicação de cinzas foi de 1.666,7 m², ou seja, praticamente 24 kg m⁻² ante 4 Kg m⁻² quando a mesma dose é aplicada a lanço. Assim, apesar da pouca presença de elementos com poder corretivo, a aplicação das cinzas em grandes quantidades na linha acabou levando ao solo uma quantidade suficiente de elementos com poder corretivo; o que gerou o efeito no pH. Maeda et al. (2008) utilizando cinzas com baixo PN (8,25%) em doses de 80 Mg ha⁻¹, constataram elevação do pH e atribuíram o efeito ao poder neutralizante das cinzas. Ferreira et al. (2012) testando doses (0, 5, 15 e 30 Mg ha⁻¹) e cinzas de bagaço de diferentes tipos concluíram que o efeito do tipo não foi tão

marcante quanto o efeito da dose para a alteração de pH; sendo que as mudanças nos valores de pH são fortemente dependentes das doses de cinzas (MATSI; KERAMIDAS, 1999).

A adição de CBC reduziu a acidez potencial do solo no primeiro ano, efeito esse remanescente no ano seguinte. Considerando o modelo quadrático ajustado, levando-se em consideração a menor acidez potencial, chega-se à dose de 28 Mg ha⁻¹, sendo que no primeiro ano, a redução da acidez potencial foi significativa e da ordem 40% entre o tratamento controle e a dose de 28 Mg ha⁻¹, e de 21% para o segundo ano (Figura 12).

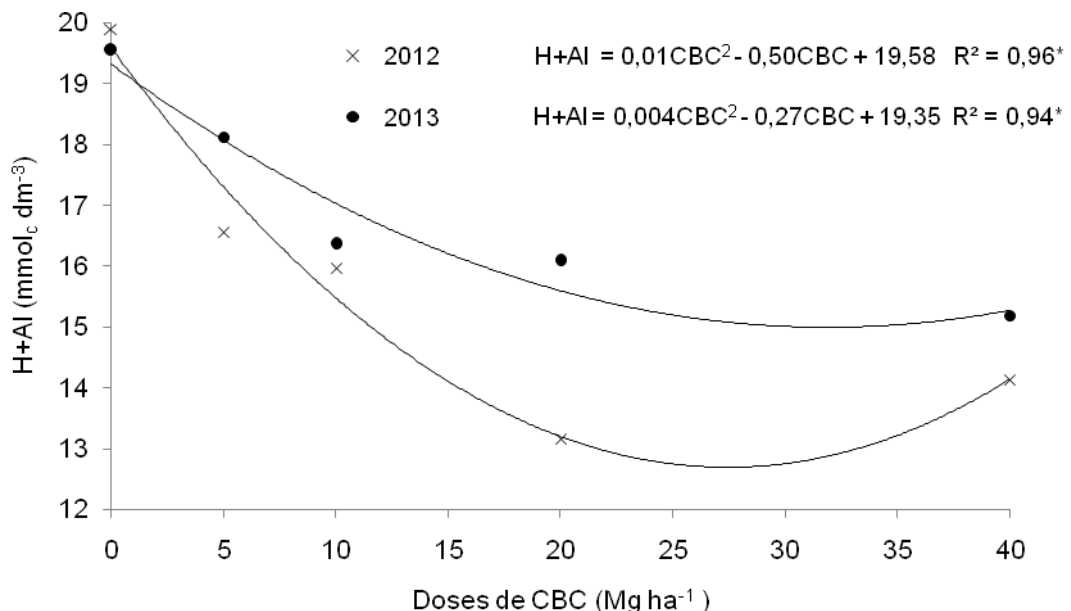


Figura 12. Acidez potencial em decorrência da aplicação de CBC na linha da cultura em cobertura nos dois anos avaliados

No primeiro ano de avaliação, a dose de 28 Mg ha⁻¹ resultou no menor valor de acidez potencial, 12 mmol_c dm⁻³, enquanto que no segundo ano, essa mesma dose resultou em um valor de 15 mmol_c dm⁻³ evidenciando efeito remanescente da CBC na acidez potencial, praticamente dois anos após sua aplicação. Dentre os componentes da acidez potencial, a redução na concentração do Al trocável é provável tanto pelas reações de troca de cátions como dos efeitos do pH na

solubilidade do Al, ou da combinação de ambos (SAARSALMI et al., 2001). O aumento de pH constatado reduziu o Al trocável, reduzindo consequentemente a acidez potencial.

A saturação por bases aumentou em decorrência das doses crescentes de CBC (Figura 13), reflexo direto do aumento do K (Figura 14) e da redução da acidez potencial (Figura 12). Para o primeiro ano (2012), a equação de regressão permite chegar a uma dose de 25 Mg ha⁻¹ para uma saturação por bases máxima de 79%, um aumento de 34% se comparada com a dose controle, o que equivale a uma dose de 1,2 Mg ha⁻¹ de calcário com 100% de PRNT; o que poderia gerar um considerável ganho econômico para as usinas, uma vez que a CBC é um subproduto e precisa ser destinada. Os teores de Ca e Mg não apresentaram individualmente alterações significativas em decorrência de doses crescentes das cinzas (Tabela 2 e 3), pois os teores desses elementos são baixos (Tabela 1) e insuficientes para provocar efeito significativo nos teores do solo. Porém quando somados, colaboram para o resultado positivo para o efeito das cinzas na saturação por base, sobretudo pela redução da acidez potencial.

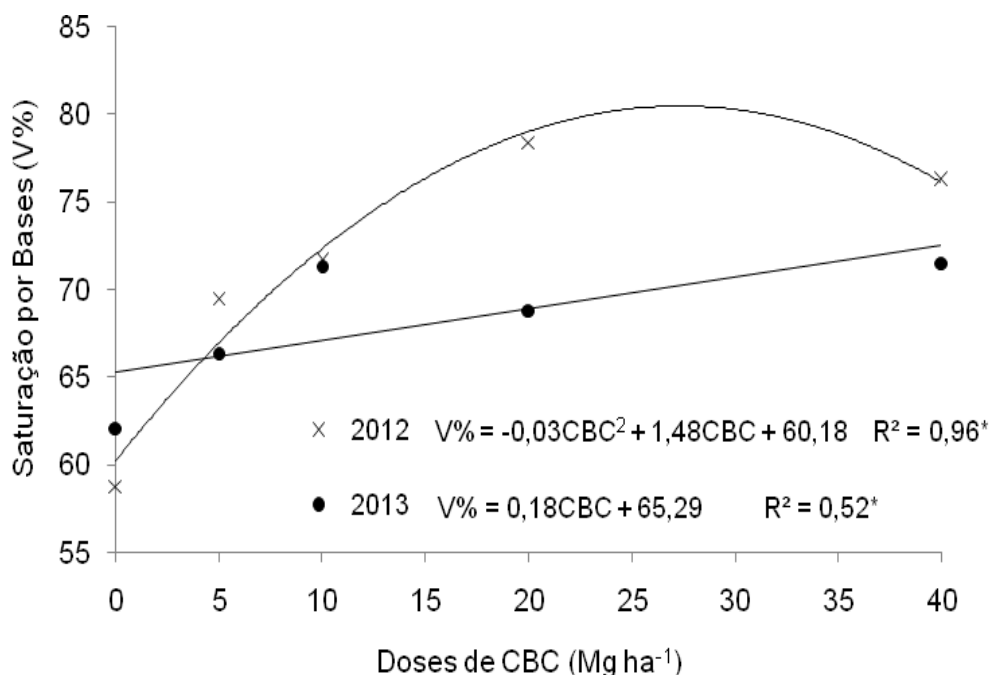


Figura 13. Saturação por bases em decorrência da aplicação de CBC na linha da cultura em cobertura nos dois anos avaliados

Os teores de P não foram afetados em decorrência do uso da cinza devido ao baixo teor de P_2O_5 na cinza (Tabelas 2 e 3), em que, na maior dose forneceu 48 kg do elemento além da baixa solubilidade do P nas cinzas e no solo (AUGUSTO; BAKKER; MEREDIEU, 2008).

O carbono orgânico no solo não foi afetado pelas doses de cinzas, pois segundo Silveira (2010) e Feitosa, Maltoni e Silva (2009), a combustão do bagaço de cana em caldeira reduz significativamente o teor de carbono das cinzas. Segundo Cordeiro; Toledo Filho; Fairbairn (2009), a queima do bagaço é eficiente, por exemplo, para a remoção do carbono orgânico com vistas à utilização das cinzas em misturas cimentícias.

A efeito da profundidade foi significativo para pH, P(resina), CO, H+Al e V% (Tabela 2). Esse efeito é decorrente fundamentalmente da aplicação em cobertura, além das práticas agrícolas, como por exemplo calagem e adubação, interferirem na camada superficial em maior intensidade; além da baixa mobilidade de alguns elementos como o P.

A análise de variância detectou interação entre as doses de CBC aplicadas e a profundidade de amostragem apenas para K para o ano de 2012 (Tabela 2). No primeiro ano do experimento, se observou aumento do teor de K do solo de forma linear, sendo que a dose 40 Mg ha^{-1} gerou um aumento da ordem de 25% nos teores de K no solo (Figura 14). Para tal dose, considerando-se o teor de K_2O na CBC (Tabela 1), foram adicionados por hectare 108 kg de K_2O . Como a cana-de-açúcar extrai em torno de 150 kg ha^{-1} de K_2O (FRANCO et al., 2008), a aplicação de 40 Mg ha^{-1} de CBC é capaz de atender 72% da demanda por potássio exigida pela cultura. Se mantida a adubação mineral de rotina, a aplicação da cinza pode garantir a demanda pela cultura e proporcionar a elevação dos teores de K no solo, como foi observado no primeiro ano de condução do experimento.

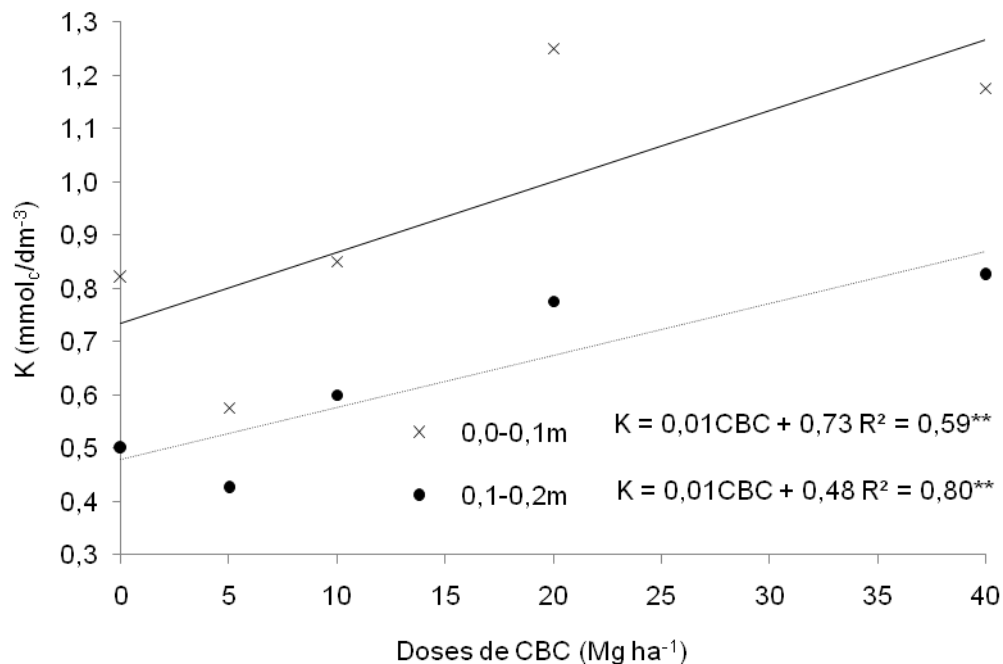


Figura 14. Teores de K nas camadas 0,0-0,1 m e 0,1-0,2 m em decorrência da aplicação de CBC na linha da cultura em cobertura em 2012

O ajuste de um modelo linear aponta que o intervalo utilizado no experimento não foi suficiente para estabelecer a dose de cinzas para elevar os teores de potássio ao máximo; entretanto, como afirmado anteriormente, doses superiores a 40 Mg ha⁻¹, são de difícil operacionalização.

Observou-se aumento do K do solo em função das doses, tanto na camada 0,0-0,10 como na camada 0,10-0,20 m. O gradiente de redução existente entre teores de K na camada superficial e subsuperficial (Figura 14) ocorre por vários motivos, como a decomposição da palhada que libera potássio e da própria adubação mineral. Porém, na camada 10-20 cm, o aumento dos teores de K com a maior dose foi da ordem de 60%, enquanto na camada 00-10 cm o aumento foi de 25%, evidenciando efeito da cinza na elevação dos teores de K em camadas subsuperficiais do solo com teores mais baixos, o que é desejado para culturas com alta demanda pelo nutriente, como a cana-de-açúcar.

Como o K compõe a parte mais solúvel da CBC, as doses crescentes elevaram os teores de K no primeiro ano, porém, esse efeito não permaneceu no

ano seguinte. Apesar do aumento nos teores de K terem ocorrido apenas no primeiro ano, ressalta-se que a CBC é um resíduo do processo industrial, e, considerando-se que sua destinação foi solucionada dentro do mesmo processo produtivo gerando ganho na fertilidade do solo para o principal nutriente extraído pela cana-de-açúcar (FRANCO et al. 2007), a alternativa de uso no solo é positiva. O maior teor de K na camada superficial deve-se ao fato de a cinza ter sido aplicada em cobertura, porém o K apresenta alta mobilidade no solo (ERNANI et al., 2007; PARK et al., 2004; ULERY et al., 1993) o que provocou também a elevação do teor de K na camada de 10-20 cm (Figura 5), devido à lixiviação.

Tabela 4. Micronutrientes no solo em função de doses de CBC aplicadas na linha da cultura em cobertura, nas camadas 0-0,1 e 0,1-0,2 m para o ano 2012

Tratamentos	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	-----mg dm ⁻³ -----				
Doses (D) - Mg ha ⁻¹					
0	0,30	0,5	39	7,0	1,0
5	0,24	0,5	33	6,6	0,6
10	0,27	0,5	27	8,6	0,5
20	0,38	0,5	23	8,7	1,7
40	0,32	0,5	24	9,7	0,8
F _{doses} ⁽¹⁾	0,89 ^{ns}	0,77 ^{ns}	5,82 ^{**}	0,63 ^{ns}	2,16 ^{ns}
CV(%) ⁽²⁾	53,2	20,1	26,6	57,1	101,5
Prof. (P) m					
0,0-0,1	0,31	0,5	27	8,7	0,9
0,1-0,2	0,31	0,6	31	7,6	1,0
F _{prof.} ⁽¹⁾	0,10 ^{ns}	12,5 ^{**}	207,02 ^{**}	13,57 ^{**}	0,01 ^{ns}
Interação DXP					
F _{Interação}	0,99 ^{ns}	1,87 ^{ns}	1,05 ^{ns}	1,77 ^{ns}	0,07 ^{ns}
CV(%) ⁽²⁾	22,1	8,3	16,2	11,1	78,1

(1): * = significativo a 5% de probabilidade; ** = significativo a 1% de probabilidade; ^{ns} = não significativo a 5% de probabilidade; (2): coeficiente de variação.

Para os micronutrientes, no primeiro ano, a análise de variância constatou efeito significativo das doses de cinza apenas para Fe (Tabela 4). Os teores de Fe

decreceram com o aumento das doses (Figura 15), provavelmente, devido à solubilidade do Fe decrescer com a redução da acidez, fenômeno que é, segundo Abreu et al. (2007), muito mais pronunciado para o Fe quando comparado com outros micronutrientes metálicos.

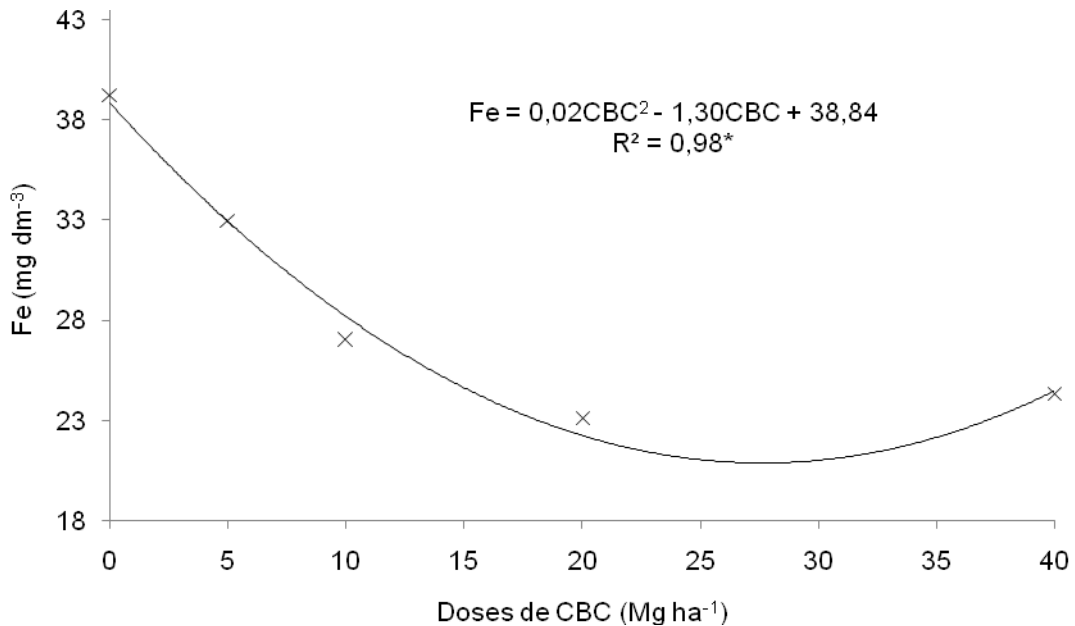


Figura 15. Teores de Fe no solo em decorrência da aplicação de CBC na linha da cultura em cobertura em 2012

A relação entre os teores de Fe e pH está expresso na Figura 16, onde é possível perceber claramente a queda nos teores de Fe em razão do aumento do pH. Ressalta-se que mesmo sendo o Fe o micronutriente com maior participação na composição da CBC (Tabela 1), a quantidade adicionada não foi suficiente para elevar os teores de Fe frente o aumento de pH.

Os demais micronutrientes (Cu, Mn, Zn e B) não sofreram efeito em razão da adição da CBC (Tabela 4). Exceto pelos teores de Fe, os demais micronutrientes estão em quantidades muito baixas na CBC, sendo que em praticamente nenhum caso foi adicionado mais de 1 kg ha⁻¹ desses elementos na maior dose aplicada, exceção feita ao Mn, cuja dose de 40 Mg ha⁻¹ adicionou 4 kg ha⁻¹ ao solo, quantidade incipiente ainda para alterações significativas no solo.

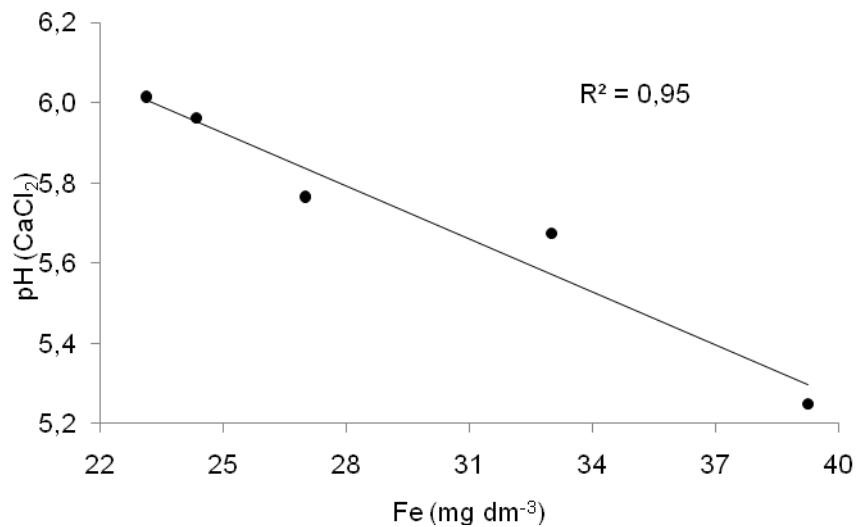


Figura 16. Correlação entre os teores de Fe e pH no solo para o ano 1, após a aplicação de CBC na linha da cultura em cobertura em 2012

Tabela 5. Micronutrientes no solo em função de doses de CBC aplicadas na linha da cultura em cobertura, nas camadas 0-0,1 e 0,1-0,2 m para o ano 2013

Tratamentos	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	-----mg dm ⁻³ -----				
Doses (D) Mg ha ⁻¹					
0	0,10	0,5	43	5,2	0,4
5	0,13	0,5	40	4,7	0,5
10	0,14	0,5	31	4,9	0,5
20	0,15	0,5	33	4,3	0,6
40	0,17	0,5	32	5,1	0,5
F _{doses} ⁽¹⁾	0,82 ^{ns}	0,75 ^{ns}	1,82 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,76 ^{ns}
Cv(%) ⁽²⁾	55,3	25,2	32,0	34,9	45,8
Prof. (P) m					
0,0-0,1	0,13	0,5a	33b	5,7a	0,5
0,1-0,2	0,14	0,4b	38a	4,8b	0,5
F _{prof.} ⁽¹⁾	0,25 ^{ns}	13,63*	4,81**	4,09**	1,5 ^{ns}
Interação DXP					
F _{Interação}	0,43 ^{ns}	2,38 ^{ns}	2,11 ^{ns}	1,12 ^{ns}	3,37 ^{ns}
CV(%) ⁽²⁾	42,8	8,5	20,1	13,5	10,3

⁽¹⁾: * = significativo a 5% de probabilidade; ** = significativo a 1% de probabilidade; ^{ns} = não significativo a 5% de probabilidade; ⁽²⁾: coeficiente de variação.

Para o segundo ano, não foi detectado nenhum efeito significativo das doses de cinza nos teores de micronutrientes do solo (Tabela 5). O efeito significativo se restringe às profundidades para Cu, Fe e Mn, em razão das práticas agrícolas concentrarem-se em superfície.

4.1.2. Cinza Incorporada

A análise de variância detectou efeito significativo da adição de CBC e posterior incorporação no solo para K e acidez potencial no primeiro ano após a aplicação (Tabela 6) e apenas para acidez potencial no segundo ano (Tabela 7). Foram observados aumentos no teor de K e redução na acidez potencial.

Tabela 6. Atributos químicos do solo em função de doses de cinza de CBC aplicadas e incorporada, nas camadas 0,0-0,1 e 0,1-0,2m em 2012

Fontes de variação	pH (CaCl ₂)	P resina ----mg dm ⁻³ ----	S-SO ₄ g dm ⁻³	CO g dm ⁻³	Ca ²⁺ -----	Mg ²⁺ -----	K ⁺ -----	Na ⁺ -----	H+Al -----	SB -----	CTC -----	V %
Doses (D) Mg ha ⁻¹												
0	5,8	17	5	7	24	7	0,3	1,2	14	33	47	70
5	5,9	18	6	8	26	9	0,3	0,9	13	37	50	73
10	6,0	24	8	8	28	9	0,4	1,1	12	38	51	73
20	6,0	21	3	8	29	11	0,5	1,1	12	42	52	76
40	6,0	21	5	8	26	10	0,7	1,6	11	39	52	73
F _{doses} ⁽¹⁾	1,79 ^{ns}	2,41 ^{ns}	0,49 ^{ns}	1,22 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,84 ^{ns}	4,95*	0,88 ^{ns}	3,98*	0,61 ^{ns}	0,37 ^{ns}	1,49 ^{ns}
CV(%)(²)	3,0	23,6	121,1	11,1	25,0	50,9	39,6	69,8	10,2	30,1	22,2	8,21
Prof. (P) m												
0,0-0,1	6,1	25	5	8	30	12	0,6	1,1	11	43	55	78
0,1-0,2	5,8	16	6	7	23	7	0,4	1,3	14	32	47	68
F _{prof.} ⁽¹⁾	76,56**	30,32**	0,86 ^{ns}	28,04**	20,85**	8,74**	26,01**	2,02	74,49**	14,78**	7,21*	70,06**
Interação DXP												
F _{interação}	0,70 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,77 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,71 ^{ns}	2,21 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,23 ^{ns}	1,69 ^{ns}
CV(%)(²)	2,1	23,1	68,8	6,3	19,0	43,9	19,0	53,7	9,0	24,1	18,0	5,2

(¹): * = significativo a 5% de probabilidade; ** = significativo a 1% de probabilidade; ^{ns} = não significativo a 5% de probabilidade; (²): coeficiente de variação.

A aplicação da CBC em superfície em área total com posterior incorporação provoca uma diminuição da ação desta no solo em decorrência do maior volume de contato de cinzas com o solo; enquanto na aplicação em cobertura na linha a cinza fica concentrada apenas no local de aplicação. Esse fato já reflete na ausência de efeito para o pH. Enquanto que a aplicação localizada na linha da soqueira (24 kg ha⁻¹) provocou elevação do pH, a aplicação em área total não, provavelmente em razão do baixo PN da cinzas.

A adição de CBC elevou os teores de K no solo (Figura 17), praticamente dobrando os teores, porém permaneceram muito baixos segundo classificação de Raij et al. (1996). Da mesma forma que quando aplicada em cobertura, a CBC quando incorporada limitou seu efeito no primeiro ano de avaliação do experimento, em razão principalmente da alta solubilidade do K.

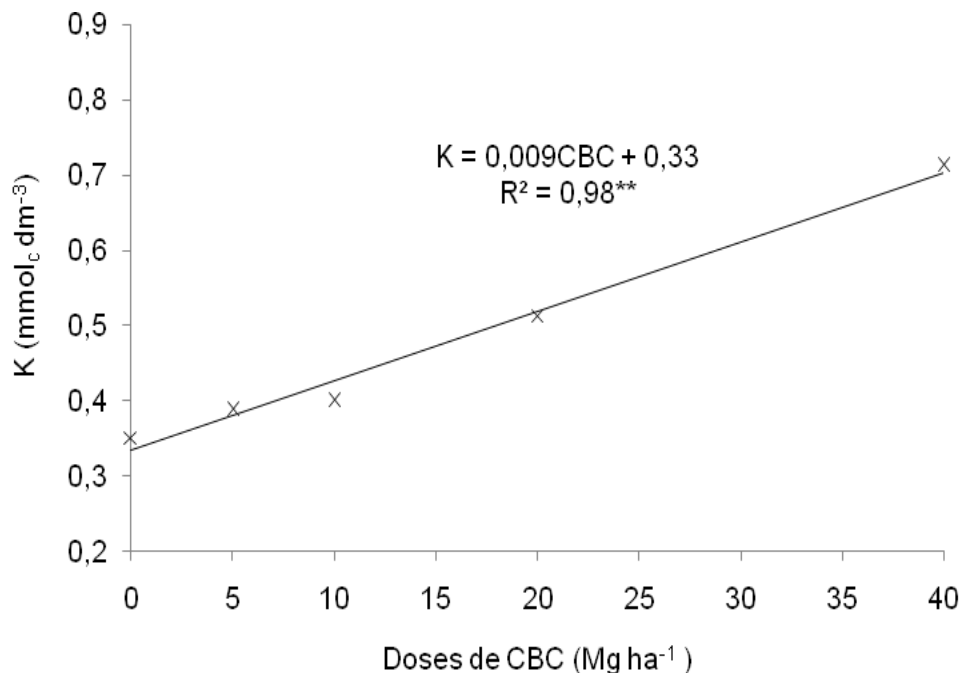


Figura 17. Teores de K em decorrência da incorporação de CBC em 2012

Do ponto de vista da destinação de resíduos no solo, um dos principais fatores a se considerar é o equilíbrio no complexo de troca do solo. A adição de

materiais com concentração elevada de determinado elemento pode levar o solo ao desequilíbrio, o que não ocorreu para CBC, e esse fato mostra-se vantajoso, pois mesmo em doses elevadas (40 Mg ha^{-1}), o efeito ficou restrito ao primeiro ano de aplicação para K, trazendo a idéia que nova aplicação poderia ser realizada.

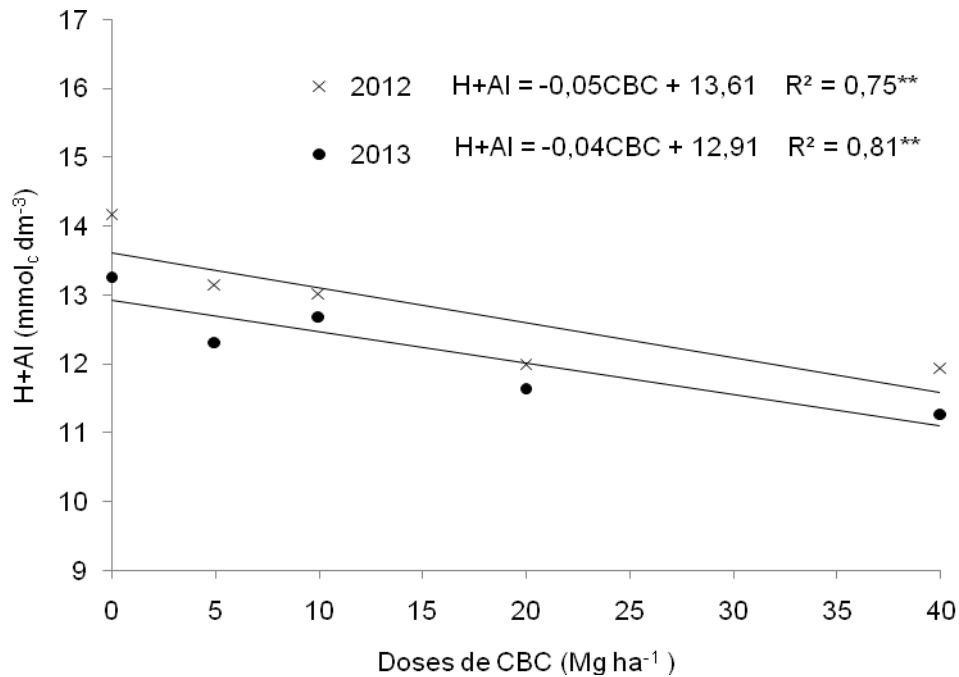


Figura 18. Acidez potencial em decorrência da incorporação de CBC

A acidez potencial decresceu linearmente (Figura 18) em 21% para 2012 comparando-se a dose 40 Mg ha^{-1} e a testemunha e 15% para 2013, em razão do efeito remanescente da CBC no solo já discutido anteriormente. Em razão da ausência de efeito o pH, a redução da acidez potencial ocorreu em razão da substituição do Al do complexo de troca, e ocorreu em menor intensidade que quando a cinza foi aplicada em cobertura.

Os resultados apresentados mostram que a CBC é uma boa alternativa para utilização em renovações de canaviais, pois, quando incorporada ao solo, mostrou-se efetiva na elevação dos teores de K do solo, sem provocar desequilíbrio entre as bases; além de reduzir a acidez potencial com efeito remanescente no ano seguinte.

O efeito da profundidade foi significativo para pH, P(resina), CO, Ca, Mg, K, H+Al, SB, CTC e V% (Tabela 7). Esse efeito é decorrente da própria incorporação das cinzas que ocorreu na profundidade de 10 cm, equivalente a camada superficial amostrada além das práticas agrícolas, cujos efeitos, na maioria das vezes, se refletem em superfície.

Tabela 7. Atributos químicos do solo em função de doses de CBC aplicada e incorporada, nas camadas 0,0-0,1 e 0,1-0,2m

Fontes de variação	pH (CaCl ₂)	P resina ----mg dm ⁻³ ---	S-SO ₄ g dm ⁻³	CO g dm ⁻³	Ca ²⁺ -----	Mg ²⁺ -----	K ⁺ mmol _c dm ⁻³ -----	Na ⁺ -----	H+Al -----	SB -----	CTC -----	V %
Doses (D) Mg ha ⁻¹												
0	6,0	23	4	8	29	9	0,3	1,0	13	40	54	73
5	6,1	20	8	8	29	10	0,6	0,7	12	41	55	76
10	6,1	23	6	8	30	11	0,3	0,8	12	43	56	76
20	6,3	21	6	7	34	12	0,4	0,7	11	47	59	79
40	6,2	26	5	12	30	12	0,6	1,1	11	44	57	74
F _{doses} ⁽¹⁾	2,10 ^{ns}	0,58 ^{ns}	0,99 ^{ns}	0,96 ^{ns}	0,78 ^{ns}	1,08 ^{ns}	1,25 ^{ns}	0,76 ^{ns}	3,42*	0,72 ^{ns}	0,60 ^{ns}	1,51 ^{ns}
CV(%) ⁽²⁾	2,5	39,5	79,4	80,6	18,8	29,1	96,9	77,9	8,2	20,9	15,5	4,42
Prof. (P) m												
0,0-0,1	6,5	29	6	10	39	14	0,5	1,3	10	54	64	86
0,1-0,2	5,8	19	6	8	23	8	0,4	0,4	14	32	47	69
F _{prof.} ⁽¹⁾	108,63**	22,16**	0,01 ^{ns}	0,99 ^{ns}	117,58**	127,49**	0,47 ^{ns}	15,9**	84,5**	138,6**	119,32**	113,03**
Interação DXP												
F _{interação}	0,55 ^{ns}	1,27 ^{ns}	0,59 ^{ns}	1,06 ^{ns}	1,02 ^{ns}	1,40 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,65 ^{ns}	1,11 ^{ns}	0,97 ^{ns}	1,06 ^{ns}	1,12 ^{ns}
CV(%) ⁽²⁾	3,7	38,5	107,9	83,3	15,0	16,9	111,6	86,1	11,8	13,4	9,0	6,0

(¹): * = significativo a 5% de probabilidade; ** = significativo a 1% de probabilidade; ^{ns} = não significativo a 5% de probabilidade; (²): coeficiente de variação.

A utilização das doses crescentes de CBC no solo agrícola não provocou efeito significativo nos micronutrientes do solo nos dois anos avaliados quando a cinza foi incorporada (Tabelas 8 e 9). Importante ressaltar que a baixa concentração desses elementos no solo, além da ausência de efeito significativo no pH do solo que possui estreita relação com a disponibilidade de micronutrientes no solo são as razões da ausência de efeito nos micronutrientes.

Tabela 8. Micronutrientes no solo em função de doses de CBC aplicada e incorporada, nas camadas 0,0-0,1 e 0,1-0,2 m para o ano 2012

Tratamentos	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	-----mg dm ⁻³ -----				
Doses (D) - Mg ha ⁻¹					
0	0,32	0,5	24	4,7	0,8
5	0,19	0,5	22	4,3	0,5
10	0,28	0,5	22	4,7	0,6
20	0,30	0,5	23	5,5	0,7
40	0,27	0,5	24	5,5	0,5
F _{doses} ⁽¹⁾	1,54 ^{ns}	1,24 ^{ns}	0,52 ^{ns}	3,09 ^{ns}	0,84 ^{ns}
Cv(%) ⁽²⁾	41,5	14,5	17,8	16,7	71,7
Prof. (P) m					
0,0-0,1	0,3	0,6	25	5,6	0,7
0,1-0,2	0,3	0,5	20	4,3	0,6
F _{prof.} ⁽¹⁾	0,50 ^{ns}	10,20 ^{**}	38,91 ^{**}	62,11 ^{**}	4,65 [*]
Interação DXP	0,82 ^{ns}	0,22 ^{ns}	1,22 ^{ns}	0,72 ^{ns}	0,63 ^{ns}
CV(%) ⁽²⁾	17,5	16,4	11,4	10,3	36,1

⁽¹⁾: * = significativo a 5% de probabilidade; ** = significativo a 1% de probabilidade; ^{ns} = não significativo a 5% de probabilidade; ⁽²⁾: coeficiente de variação.

Tabela 9. Micronutrientes no solo em função de doses de CBC aplicada e incorporada, nas camadas 0,0-0,1 e 0,1-0,2 m para o ano 2013

Tratamentos	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	-----mg dm ⁻³ -----				
Doses (D)					
0	0,09	0,3	12	2,0	0,3
5	0,05	0,3	12	1,9	0,3
10	0,04	0,3	12	2,0	0,3
20	0,05	0,3	13	2,6	0,4
40	0,07	0,4	13	2,9	0,4
F _{doses} ⁽¹⁾	0,52 ^{ns}	2,78 ^{ns}	0,20 ^{ns}	2,15 ^{ns}	1,27 ^{ns}
Cv(%) ⁽²⁾	123,9	22,7	19,8	35,2	34,6
Prof. (P) m					
0,0-0,1	0,07	0,3	13	2,7	0,4
0,1-0,2	0,05	0,3	12	2,0	0,3
F _{prof.} ⁽¹⁾	0,54 ^{ns}	0,27 ^{ns}	13,52 ^{**}	60,55 ^{**}	51,00 ^{**}
Interação DXP	0,74 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,67 ^{ns}	1,17 ^{ns}	2,03 ^{ns}
CV(%) ⁽²⁾	115,8	10,1	9,1	11,16	10,9

⁽¹⁾: * = significativo a 5% de probabilidade; ** = significativo a 1% de probabilidade; ^{ns} = não significativo a 5% de probabilidade; ⁽²⁾: coeficiente de variação.

4.2. Atributos físicos do solo

A adição de cinza de caldeira no solo nas duas modalidades avaliadas, em cobertura e incorporada, não causou efeito nos atributos físicos avaliados conforme aponta as tabelas 10 e 11.

Tabela 10. Atributos físicos do solo em função de doses de cinza de bagaço de cana-de-açúcar aplicada e incorporada

Tratamento	Densidade	Microporosidade	Macroporosidade	Porosidade Total
Mg ha ⁻¹	g cm ⁻³	-----%-----		
0	1,76	28,5	9,0	37,5
5	1,67	28,0	13,0	41,0
10	1,68	27,0	13,0	41,0
20	1,69	29,5	10,5	40,0
40	1,73	29,5	8,5	38,0
F ⁽¹⁾	1,68 ^{ns}	1,98 ^{ns}	1,53 ^{ns}	1,62 ^{ns}
CV (%) ⁽²⁾	3,5	5,3	32,4	6,6

⁽¹⁾: ns = não significativo a 5% de probabilidade ⁽²⁾: coeficiente de variação.

Outros resíduos do setor sucroalcooleiro como a vinhaça ou ainda o lodo de esgoto, provocam, em alguns casos, efeito nos atributos físicos do solo (MELO et al., 2004; BARBOSA et al., 2002 e BAYER; MIELNICZUK, 1999). Porém alguns autores não encontraram esse mesmo efeito e atribuem o fato a ausência de efeito na matéria orgânica do solo (ANDRIOLI, 1986 e CAMARGO et al., 1983). A cinza, como já discutido, por ser originada na combustão do bagaço, teria potencial mais limitado que outros resíduos para efeito na matéria orgânica do solo e por consequência nos atributos físicos do solo. Outro fato importante seria a dose. Alguns autores apresentam resultados que apontam efeito de cinzas nos atributos físicos em proporções de mistura de até 50% de cinzas no solo em experimento em

vasos (Basu et al., 2009). Considerando a profundidade de incorporação de 20 cm e a densidade do solo $1,7 \text{ g/cm}^3$, a proporção de cinza no experimento foi da ordem de aproximadamente 1,1% na maior dose testada, muito abaixo daquela dose testada com efeito positivo citada na literatura.

Tabela 11. Atributos físicos do solo em função de doses de cinza de bagaço de cana-de-açúcar aplicada em cobertura.

Tratamento	Densidade	Microporosidade	Macroporosidade	Porosidade Total
Mg ha^{-1}	g cm^{-3}	-----%-----		
0	1,61	26,0	18,5	44,5
5	1,62	25,2	18,8	44,0
10	1,56	26,0	19,7	45,7
20	1,55	26,0	20,7	46,7
40	1,57	28,0	17,2	45,2
F ⁽¹⁾	0,39 ^{ns}	2,47 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,31 ^{ns}
CV (%) ⁽²⁾	5,7	4,9	20,9	8,5

⁽¹⁾: ns = não significativo a 5% de probabilidade ⁽²⁾: coeficiente de variação.

4.3. Produtividade e atributos tecnológicos

Não foi observado efeito significativo da aplicação das doses de cinza na produtividade da cultura nas duas modalidades testadas: em cobertura para cana soca (Tabela 12) e incorporada para cana planta (Tabela 13) nos dois anos avaliados.

Apesar da elevação dos teores de potássio no solo e da redução da acidez do solo no ano 1, a cana-de-açúcar não respondeu de forma significativa ao fato. Rossetto et al. (2004) relatam que a cana-de-açúcar responde intensamente à aplicação de potássio, porém resultados apresentados por Castro & Meneghelli (1989) mostram que alguns solos com baixos teores de K^+ trocável não respondem

à adubação potássica, enquanto outros, com teores de K^+ considerados satisfatórios, respondem à aplicação de adubo potássico. Os níveis de fertilidade para o solo em questão são muito baixos e mesmo com a adubação de praxe e a aplicação das cinzas, os níveis permaneceram baixos, o que provavelmente, restringiu ganhos de produtividade em decorrência da adição de CBC ao solo.

Tabela 12. Produtividade e atributos tecnológicos da cana-de-açúcar em função de doses de cinza de bagaço de cana-de-açúcar aplicada em cobertura.

Dose	Produtividade	Brix	Pol	Pureza	AR	PCC	Fibra	ATR
Mg ha ⁻¹	Mg ha ⁻¹	----- % -----					kg.Mg ⁻¹	
Ano 2012								
0	101,1	17,45	18,82	91,45	1,34	16,09	11,43	158,95
5	103,7	17,56	18,28	90,16	1,21	15,71	11,12	155,68
10	108,1	17,96	19,05	93,52	1,28	16,29	11,40	160,39
20	116,6	17,45	18,33	90,28	1,16	15,76	11,10	156,15
40	119,3	17,27	18,88	91,20	1,15	16,20	11,21	160,07
F ⁽¹⁾	0,30 ^{ns}	0,82 ^{ns}	0,93 ^{ns}	1,68 ^{ns}	0,97 ^{ns}	0,62 ^{ns}	1,32 ^{ns}	0,51 ^{ns}
CV (%) ⁽¹⁾	26,3	3,2	3,8	2,3	13,5	4,1	2,4	3,9
Ano 2013								
0	69,90	19,04	20,34	93,31	0,51	17,77	10,19	174,69
5	63,50	18,41	19,44	92,29	0,52	16,99	10,11	167,52
10	61,40	19,28	20,27	92,22	0,50	17,77	9,94	175,07
20	68,90	19,10	20,33	92,81	0,58	17,72	10,28	174,40
40	70,90	18,93	19,82	90,68	0,57	17,18	10,61	169,70
F ⁽¹⁾	0,60 ^{ns}	0,79 ^{ns}	0,47 ^{ns}	0,79 ^{ns}	0,77 ^{ns}	0,62 ^{ns}	1,14 ^{ns}	0,63 ^{ns}
CV (%) ⁽²⁾	19,5	3,9	5,8	2,4	15,7	5,4	4,5	5,1

⁽¹⁾: ns = não significativo a 5% de probabilidade ⁽²⁾: coeficiente de variação.

Rossetto et al. (2004) relatam que a cana-de-açúcar responde intensamente à aplicação de potássio e resultados apresentados por Castro & Meneghelli (1989)

mostram que alguns solos com baixos teores de K não respondem à adubação potássica, sobretudo na presença de teores mais altos para Ca e Mg.

Tabela 13. Produtividade e atributos tecnológicos da cana-de-açúcar em função de doses de cinza de bagaço de cana-de-açúcar aplicada e incorporada

Dose	Produtividade	Brix	Pol	Pureza	AR	PCC	Fibra	ATR
Mg ha ⁻¹	Mg ha ⁻¹	----- % -----			-----			kg.Mg ⁻¹
Ano 2012								
0	98,42	15,57	16,26	89,31	1,05	13,90	11,39	138,47
5	102,92	15,33	15,97	89,64	1,15	13,74	11,03	136,87
10	101,99	16,14	17,22	90,99	1,06	14,68	11,57	145,54
20	104,12	15,96	16,98	91,62	0,80	14,62	11,03	144,77
40	104,66	15,71	16,29	89,60	0,93	14,08	10,80	140,12
F	0,22 ^{ns}	1,11 ^{ns}	1,82 ^{ns}	0,71 ^{ns}	1,77 ^{ns}	1,63 ^{ns}	2,15 ^{ns}	1,59 ^{ns}
CV (%) ⁽¹⁾	10,33	3,8	4,6	2,5	18,3	4,5	3,8	4,18
Ano 2013								
0	85,58	18,41	16,07	90,13	0,87	16,59	10,42	164,18
5	94,97	18,48	18,95	89,45	0,77	16,52	10,34	163,66
10	91,04	18,65	18,97	88,87	0,96	16,58	10,18	164,39
20	91,62	18,44	18,79	88,57	0,82	16,33	10,50	162,10
40	92,58	18,81	19,35	89,47	0,73	16,83	10,46	166,59
F	0,31 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,76 ^{ns}	0,27 ^{ns}
CV (%)	17,2	3,1	3,9	1,84	28,27	4,1	2,8	3,7

⁽¹⁾: ns = não significativo a 5% de probabilidade ⁽²⁾: coeficiente de variação.

Mesmo com a elevação dos teores de K, os resultados apontam que esses teores são classificados como baixo ou muito baixo segundo Raij et al. (1996) enquanto que os teores de Ca estão altos, fato que pode ter limitado a resposta da cana-de-açúcar ao potássio adicionado pela CBC. Rossetto et.al. (2004) verificaram resposta à adubação potássica em 7 de 10 avaliações, o que mostra que a resposta

a adição de potássio não é certa, e depende de fatores além da quantidade de K_2O adicionada.

A ausência de efeito nos atributos tecnológicos é benéfico do ponto de vista das unidades industriais, pois a utilização de doses elevadas de outros resíduos acabam interferindo na no rendimento industrial, o que não foi constatado.

Zambello Junior e Orlando Filho (1977) verificaram que o aumento de potássio induziu maior teor de cinzas, porém o efeito positivo das doses de cinza nos teores de K no solo não foram suficientes para as alterações na qualidade da matéria prima sugeridas pelos autores, provavelmente em razão dos níveis de fertilidade para K ainda permanecerem baixos, mesmo sob doses maiores.

5. CONCLUSÕES

A aplicação de CBC em cobertura no solo interfere em atributos químicos do solo causando elevações nos teores de K além da redução na acidez ativa e potencial, e, portanto, elevação da saturação por bases.

O valor máximo de pH e V% e mínimo de H+Al ocorreu para a dose 28 Mg ha⁻¹ e a adição de quantidade maior da cinza ao solo causou redução no pH.

As doses de cinza estudadas não influenciaram os atributos físicos do solo, não ocasionando problemas ao sistema solo-planta.

A produtividade da cana-de-açúcar e os atributos tecnológicos não foram influenciados pelas doses de cinza aplicadas, o que viabiliza a disposição desse resíduo em solos agrícolas, sem que ocorra dano à produção de açúcar e/ou etanol.

A CBC pode ser utilizada como fonte de K para o solo, levando-se em consideração sua capacidade de disponibilizar o elemento ao sistema solo-planta.

6. REFERÊNCIAS

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10004**: resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004. 77 p.

ABREU, C. A.; LOPES, A. S.; SANTOS, G. C. G. MICRONUTRIENTES. IN: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. VIÇOSA: SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2007, P.645-736.

ADRIANO, D.C., WEBER, J., BOLAN, N.S., PARAMASIVAN, S., KOO, BON-JUN, SAJWAN, K.S. Effects of high rates of coal fly ash on soil, turfgrass, and groundwater quality. **Water, Air, & Soil Pollution**, V.139, n. 4, p.365–385, 2002

ANDRIOLI, I. **Efeitos da vinhaça em algumas propriedades químicas e físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro textura média**. 1986. 85 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1986.

ANGUISSOLA, S., S. SILVA e G. BOTTESCHI. Effect of fly ash on the availability of Zn, Cu, Ni and Cd to chicory. **Agriculture, Ecosystems and Environment**,v.72, n.2, p.159–163, 1999

ARSHAD, M. A.; SOON, Y. K.; AZOOZ, R. H.; LUPWAYI, N. Z.; CHANG, S.X. Soil and crop response to Wood ash and lime application in acidic soils. **Agronomy journal**, Madison, v. 104, n. 3, p. 715-721, 2012.

AUGUSTO, L.; BAKKER, M. R.; MEREDIEU, C. Wood ash applications to temperate forest ecosystems: potential benefits and drawbacks. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 306, n. 1-2, p. 181-198, 2008.

AZEREDO, D. F.; BOLSANELLO, J.; WEBER, H.; VIEIRA, J. R. Nitrogênio em cana planta: doses e fracionamento. **Revista STAB**, Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, v.6, p.26-33, 1986

BARBOSA, G.M.C.; TAVARES FILHO, J.; FONSECA, I.C.B. Avaliações de propriedades físicas de um Latossolo Vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto por dois anos consecutivos. **Sanare**, Curitiba, v.17, n.17, p. 94-101, 2002.

BASU, M.; PANDE, M.; BHADORIA, P. B. S.; MAHAPATRA, S. C. Potential fly-ash utilization in agriculture: A global review. **Progress in Natural Science**, London, v. 19, n. 10, p. 1173-1186, 2009.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p.9-26.

BERMANN, C. Crise ambiental e as energias renováveis. **Ciencia e Cultura.**, São Paulo, v. 60, n. 3, Setembro, 2008

BLAKE, G. R., HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A, ed. **Methods of soil analysis. Physical and mineralogical methods**. Madison: ASA, 1986. p.363-375.

BLISSETT, R. S., N.A. ROWSON, N. A. A review of the multi-component utilization of coal fly ash. **Fuel**, v.97, n.1, p.1–23, 2012

BORLINI, M. C.; MENDONÇA, J. L. C. C.; VIEIRA, C. L. F.; MONTEIRO, S.N. Influência da temperatura de sinterização nas propriedades físicas, mecânicas e microestruturais de cerâmica vermelha incorporada com cinza de bagaço de cana de açúcar. **Revista Matéria**, v. 11, n. 4, p. 435-443, 2006.

BRUNELLI, A. M. M. P.; PISANI JÚNIOR, R. Proposta de Disposição de Resíduo Gerado a partir da Queima do Bagaço de Cana em Caldeiras como Fonte de Nutriente e Corretivo do Solo. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 30., 2006, Punta del Leste. **Anais...** Punta del Leste : Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2006. v. 1. p. 1-9.

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 da indústria álcool açucareira. **Bragantia**, v.43, n.1, p.125-139, 1984.

CAMARGO, O. A.; VALADARES, J. M. A. S.; GERALDI, R. N. **Características químicas e físicas de solo que recebeu vinhaça por longo tempo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 30 p. (Boletim Técnico, 76).

CAMPBELL, D. J., FOX, W. E. AITKEN, R. L.; BELL, L. C. Physical characteristics of sand amended with fly ash. **Australian Journal of Soil Research**. V.21 p.147–154, 1983.

CASTRO, A. F.; MENEGHELLI, N. A. As relações $K^+/(Ca^{2++}Mg^{2+})^{1/2}$ e $K^+/(Ca^{2++}Mg^{2+})$ no solo e as respostas a adubação potássica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 6, p. 751-760, jun. 1989

CHALITA, R. **Calibração da adubação potássica através da análise do solo para a cultura de cana-de-açúcar**. 1991. 76 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.

COLETI, J.T.; CASAGRANDE, J.C.; STUPIELLO, J.J.; RIBEIRO, L.D. & OLIVEIRA, G.R. Remoção de macronutrientes pela cana-planta e cana-soca, em Argissolos, variedades RB83486 e SP81-3250. **Revista STAB**, v.24, p32-36, 2006.

CONAB, COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, quarto levantamento**, abril/2014. Disponível em <
http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_04_10_09_00_57_boletim_cana_portugues_-_4o_lev_-_13.pdf > – Acesso em: 20 abr. 2014

CONSECANA. Regulamento dos negócios de compra e venda de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo: Manual de Instruções. Piracicaba: 2006. 16p.

CORDEIRO, G. C.; TOLEDO FILHO, R. D.; FAIRBAIRN, E. M. R. Influência da substituição parcial de cimento por cinza ultrafina da casca de arroz com elevado teor de carbono nas propriedades do concreto. **Ambiente Construído**, v.9, n.4, p.99-107, 2009

CORTELLAZZI, M. Y.; DEMANBORO, A. C. Avaliação Ambiental da Incorporação de Resíduos ao Concreto In: Encontro de iniciação científica da PUC-Campinas, XIV.,2009 **Anais eletrônicos ...** Campinas: PUC, 2009.

COSTA, C. T. S.; FERREIRA, V. M.; ENDRES, L.; FERREIRA, D. T. R. G.; GONÇALVES, E. R. Crescimento e produtividade de quatro variedades de cana-de-açúcar no quarto ciclo de cultivo. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, p. 56-63, 2011.

DAROLT, M. R.; BLANCO NETO, V.; ZAMBON, F. R. A. Cinza vegetal como fonte de nutrientes e corretivo de solo na cultura de alface. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 11, n. 1, p. 38-40, 1993

DEMEYER, A.; NKANA, J. C. V.; VERLOO, M. G. Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview. **Bioresource Technology**, v. 77, n. 03, p. 287-295, 2001.

DI PAULA, M. O., TINÔCO, I. F. F., RODRIGUES, C. S., SILVA E. N.; SOUZA, C. F. Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.3, p.353–357, 2009.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária . **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa Produção de Informação – SPI; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353 p.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1979.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2013 – Ano base 2012: Relatório Síntese**. Rio de Janeiro: EPE, 2013. 55 p. : 18 il.

ERNANI P. R.; ALMEIDA J. A.; SANTOS F. C. Potássio. In: NOVAIS R. F.; ALVAREZ V. H.; BARROS N. F.; FONTES R. L. F.; CANTARUTTI R. B.; NEVES J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS/UFV. p. 551-594, 2007

ERNANI, P. R.; BAYER, C.; ALMEIDA, J. A.; CASSOL, P. C. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 2, p.393-402, 2007.

FAIL, J. L.; WOCHOC, Z. S., Soybean growth on fly ash amended strip mine spoils. **Plant and Soil**, v. 48, p.473-484, 1977

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.

FERNANDES, A. C. **Cálculos na agroindústria canavieira**. Piracicaba: STAB, 2000. 193p.

FERREIRA, E. P. de B.; F., AGERIAE, N. K.; D., DIDONET, A. D. Chemical properties of an oxisol under organic management as influenced by application of sugarcane bagasse ash. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 2, p. 228-236, abr-jun, 2012

FRANCO, H.C.J.; VITTI, A.C.; FARONI, C.E.; CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O. Estoque de nutrientes em resíduos culturais incorporados ao solo na reforma do canal. **Revista STAB**, v.25, p.249-256, 2007.

FRANCO, H.C.J.; TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C.; OTTO, R.; FARONI, C.E.; SARTORI, R.H. & TRIVELIN, M.O. Acúmulo de nutrientes pela cana-de-açúcar. **Revista STAB**, v.26, p.47-51, 2008.

FREIRE, W. J.; CORTEZ, L. A. B. **Vinhaça de cana-de-açúcar**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 203p.

FREITAS, M. A. V. Setor elétrico brasileiro: oportunidades em energias renováveis. Brasília. **Energeo**. Aneel, 2001 (CD-ROM)

JAMIL, M., M. QASIM AND M. UMAR.. Agronomic potential of organic wastes (bagasse ash) in respect of Wheat (*Triticum aestivum* L.). **International Journal of Agriculture and Biology**, 6(3), 468-470, 2004.

KHAN R.K., KHAN M.W. The effect of fly ash on plant growth and yield of tomato. **Environmental Pollution** v.92, n.1, p.105–111, 1996.

KORNDÖRFER, G. H.; OLIVEIRA, L. A. O potássio na cultura da cana-de-açúcar. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (Eds.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2005. p. 469-490.

LANA, R. M. Q.; ZANÃO JÚNIOR, L. A.; KORNDORFER, G. H. & MACIEL JUNIOR, V. A. Parcelamento da adubação potássica na cana-planta. **STAB Açúcar, Álcool Subpr.**,v.23, p.28-31, 2004.

LAVANHOLI, M. G. D. P. Qualidade da cana-de-açúcar como matéria-prima para produção de açúcar e álcool. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M. de; LANDELL, M. G. de A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: IAC, 2010. Cap. 32, p. 697-724.

LEE H, HA H.S, LEE C.H., LEE Y.B., KIM P.J. Fly ash effect on improving soil properties and rice productivity in Korean paddy soils. **Bioresource Technology** v. 97, n.13, p.1490–1497, 2006.

MAEDA, S.; SILVA, H. D.; CARDOSO, C. Resposta de *Pinus taeda* à aplicação de cinza de biomassa vegetal em Cambissolo Húmico, em vaso. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, 56:43-52, 2008

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafós, 1997. 319p

MATSI, T.; KERAMIDAS, V. Z. Fly ash application in two acid soils and its effect on soil salinity, pH, B, P and on ryegrass growth and composition. **Environmental Pollution**, v.104, n.1, p.107-112, 1999.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O.; MELO, V.P. O uso agrícola do biossólido e as propriedades do solo. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; SOBRINHO, P.A.; HESPANOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J.; MARQUES, M.O. **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001. p.289-363.

MITTRA B.N., KARMAKAR S., SWAIN D.K., GHOSH B.C. Fly ash – a potential source of soil amendment and a component of integrated plant nutrient supply system. **Fuel**, v.84, n.11, p.1447–1451, 2005.

NKANA, J. C. V.; DEMEYER, A.; VERLOO, M. G. Effect of wood ash application on soil solution chemistry of tropical acid soils: incubation study. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 85, n. 3, p. 323-325, 2002.

OLIVEIRA, A. J.; RAMALHO, J. **Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Secretaria de Produção e Agroenergia. 2. ed. rev. - Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 2006. 110 p. Disponível em < http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Ministerio/

OLIVEIRA, E. C. A.; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, R. I.; FREIRE, M. B. G.; SIMÕES NETO, D. E.; SILVA, S. A. M. Extração e exportação de nutrientes por variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 1343-1352, 2010.

OLIVEIRA, R. F.; FURLAN JÚNIOR, J.; TEIXEIRA, L. B. **Composição Química de Cinzas de Caldeira da Agroindústria do Dendê**. Comunicado técnico 155, 2006. Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA.

ORLANDO FILHO, J.; BITTENCOURT, V.C.; CARMELLO, Q.A.C.; BEAUCLAIR, E.G.F. Relações K, Ca e Mg de solo Areia Quartzosa e produtividade da cana-de-açúcar. **Stab, Açúcar Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.14, n.5, p.13-17, 1996.

ORLANDO FILHO, J.; ROSSETTO, R.; GERALDI, R.N. Adubação potássica em cana-de-açúcar: II Análise química do solo e diagnose foliar. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 5., 1993, Águas de São Pedro. **Anais**. Piracicaba: Stab, 1993b, p. 50-54.

ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELLO JUNIOR., E.; RODELLA, A.A. Calibração de potássio no solo e recomendação de adubação para a cana-de-açúcar. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v.97, n.1, p. 18-24, 1981.

ORLANDO FILHO. J.; HAAG, H.P. & ZAMBELLO JUNIOR, E. **Crescimento e absorção de macronutrientes pela cana-de-açúcar, variedade CB41-76, em função da idade, em solos do estado de São Paulo**. São Paulo, IAA, 1980. 128p. (Boletim Técnico PLANALSUCAR, 2).

OTTO, R.; VITTI, G. C.; LUZ, P. H. C. Manejo da adubação potássica na cultura da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1137-1145, 2010.

PANDEY, V. C.; SINGH, N. Impact of fly ash incorporation in soil systems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 136, n. 1-2, p. 16-27, 2010.

PARK, B. B.; YANAI, R. D.; SAHM, J. M.; BALLARD, B. D.; ABRAHAMSON, L. P. Wood ash effects on soil solution and nutrient budgets in a willow bioenergy plantation. **Water, Air and Soil Pollution**, Dordrecht, v. 159, n. 1, p. 209-224, 2004.

PARK, N. D.; RUTHERFORD, P. M.; THRING, R. W.; HELLE, S. S. Wood pellet fly ash and bottom ash as an effective liming agent and nutrient source of rye Grass (*Lolium perenne* L.) and oats (*Avena sativa*). **Chemosphere**, Oxford, v. 86, n. 4, p.427-432, 2012.

PRABAKAR J., DENDORKAR N., MORCHHALE R. K. Influence of flyash on strength behavior of typical soils. **Construction and Building Materials** v.18, n.4, p.:263-267, 2004.

RAIJ, B. van. Calibração do potássio trocável em solos para feijão, algodão e cana-de-açúcar. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v.26, n.6, p.575-576, 1974.

RAIJ, B. van. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba, Potafos, 1991. 343p.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas Instituto Agrônômico, 2001. 285p

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2a. ed. Campinas: Instituto Agrônômico e Fundação IAC, 1996. p. 237-239. (Boletim Técnico, 100)

RAUTARAY, S.K., GHOS, B. C.; MITTRA, B. N. Effect of fly ash, organic wastes and chemical fertilizers on yield, nutrient uptake, heavy metal content and residual fertility in a rice-mustard cropping sequence under acid lateritic soils. **Bioresource. Technology**, v.90, n.3, p.275-283, 2003.

RIPOLI, M. L. C.; RIPOLI, T. C. C. Palhiço como fonte de energia. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M. de; LANDELL, M. G. de A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: IAC, 2010. Cap. 36, p. 791-808.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. Piracicaba: Barros & Marques Ed. Eletrônica, 2004. 302 p

RODELLA, A.A.; ZAMBELO JUNIOR, E. & ORLANDO FILHO, J. Calibração das análises de fósforo e potássio do solo em cana-de-açúcar - 2ª aproximação. **Saccharum**, v.28, p.39-42, 1983

ROSSETTO, R. A cana-de-açúcar e a questão ambiental. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M. de; LANDELL, M. G. de A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: IAC, 2010. Cap. 41, p. 869-882.

ROSSETTO, R.; DIAS, F. L. F. D.; VITTI, A. C.; PRADO JÚNIOR, J. P. Q. Potássio. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M. de; LANDELL, M. G. de A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: IAC, 2010. Cap. 12, p. 289-312.

ROSSETTO, R.; SPIRONELLO, A.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. Calagem para a cana-de-açúcar e sua interação com a adubação potássica. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 01, p. 105-119, 2004.

SALE, L. Y.; CHANASYK, D. S.; NAETH, M. A. Temporal influence of fly ash on select soil physical properties. **Canadian Journal of Soil Science**. V.77, n.4, p.677–683, 1997

SAARSALMI, A.; SMOLANDER, A.; KUKKOLA, M.; MOILANEN, M.; SARAMAKI, J. 30-Year effects of wood ash and nitrogen fertilization on soil chemical properties, soil microbial processes and stand growth in a Scots pine stand. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 278, p. 63-70, 2012.

SILVEIRA, J.F., SIQUEIRA, J.O., GUEDES, G.A.A. Interação fósforo x potássio x calcário em cana-de-açúcar (cana planta). **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v.95, n.1, p.18-21, 1980.

SILVEIRA, T. **Avaliação de cinza de caldeira de indústria de concentrados de frutas cítricas sobre as propriedades de solo degradado e solo cultivado com cana-de-açúcar**. 2010. 39 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2010

SOUZA, A. E.; TEIXEIRA, S. R.; SANTOS, G. T. A.; COSTA, F. B.; LONGO, E. Reuse of sugarcane bagasse ash (SCBA) to produce ceramic materials. **Journal of Environmental Management**, London, v. 92, n. 10, p. 2774-2780, 2011

TANIMOTO, T. The press method of cane analysis. Hawaiian in Plater's Record, **Aila**, v.57, p. 133-150, 1964

UKWATTAGE, N. L; RANJITH, P. G., BOUAZZA, M. The use of coal combustion fly ash as a soil amendment in agricultural lands (with comments on its potential to improve food security and sequester carbon). **Fuel**, v.109, p.400–408, 2013

ULERY, A.L.; GRAHAM, R.C.; AMRHEIN, C. Wood-ash composition and soil pH following intense burning. **Soil Science** v.156 n.5, p.358-364, 1993

VIEIRA, W.; SILVA, F. C. Análises de fertilizantes minerais, organominerais e corretivos. In: SILVA, F. C. (Org.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. p.235-395.

VOLANTE, P. R. **Atributos físicos e químicos do solo e desenvolvimento de laranja-Pera em função de doses de cinza de bagaço de cana-de-açúcar.** Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2013.

WARAMBHE P.E.; KENE D.R., THAKRE K.K.. Evaluation of physiochemical properties of flyash of thermal power station, Koradi (Nagpur) for its likely use in agriculture. **Journal of Soils and Crops**, v.3, n.1, p.75–77, 1993.

WATSON, L. D. **Effects of fly ash-induced textural changes on soil water retention and soil strength.** Dissertação (mestrado), University of Alberta, 1994

YAMANE, D. R. **Desenvolvimento de laranjeira Valência e caracterização de atributos do solo sob aplicação de cinza do bagaço de cana.** Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2013.

YAMANAKA, H.T., **Sucos cítricos.** São Paulo: CETESB, 2005. 45 p

ZAMBELO Jr., E.; ORLANDO FILHO, J. Diagnose foliar e adubação fosfatada em cana-planta para diferentes solos do Estado de São Paulo. In.: CONGRESSO NACIONAL DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS DO BRASIL, 1., 1979, Maceió. **Anais...** Maceió: Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcoleiros do Brasil, 1979. p. 315-318.

ZARDO, A. M.; BEZERRA, E. M.; MARTELLO, L. S.; SAVASTANO JUNIOR, H. Utilização da cinza de bagaço cana-de-açúcar como *filler* em compostos de fibrocimento. In: Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável, 1 e Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 10, São Paulo, SP, 2004. **Anais.** Porto Alegre, 2004. v. 1, p. 1-13.