

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

**UTILIZAÇÃO DE CINZA DE BAGAÇO DE
CANA-DE-AÇÚCAR EM POMARES CITRÍCOLAS:
EFEITO NO SOLO E NA PLANTA**

Priscila Roberta Volante

Engenheira Agrônoma

2016

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

**UTILIZAÇÃO DE CINZA DE BAGAÇO DE
CANA-DE-AÇÚCAR EM POMARES CITRÍCOLAS:
EFEITO NO SOLO E NA PLANTA**

Priscila Roberta Volante

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).

2016

Volante, Priscila Roberta
V899u Utilização de cinza de bagaço de cana-de-açúcar em pomares
citrícolas: efeito no solo e na planta / Priscila Roberta Volante. --
Jaboticabal, 2016
ix, 53 p. : il. ; 29 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias, 2016
Orientador: José Eduardo Corá
Banca examinadora: Maria Helena Moraes Spinelli, Adolfo
Valente Marcelo, Carolina Fernandes, Edson Luiz Mendes Coutinho.
Bibliografia

1. Utilização de resíduos. 2. Atributos do solo. 3. Citros. I. Título.
II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 634.31:631.879

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

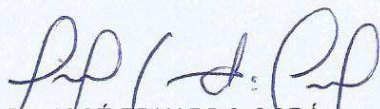
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: UTILIZAÇÃO DE CINZA DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR EM POMARES CITRÍCOLAS: EFEITO NO SOLO E NA PLANTA

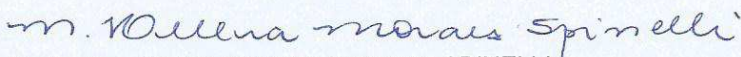
AUTORA: PRISCILA ROBERTA VOLANTE

ORIENTADOR: JOSÉ EDUARDO CORÁ

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:




Prof. Dr. JOSÉ EDUARDO CORÁ
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Profa. Dra. MARIA HELENA MORAES SPINELLI
Depto de Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu



Prof. Dr. ADOLFO VALENTE MARCELO
Centro Universitário de Rio Preto - UNIRP / São José do Rio Preto/SP



Profa. Dra. CAROLINA FERNANDES
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Prof. Dr. EDSON LUIZ MENDES COUTINHO
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 16 de novembro de 2016

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

PRISCILA ROBERTA VOLANTE – Nascida em 03 de fevereiro de 1987, em Taquaritinga, SP. Em março de 2006, ingressou no Curso de Graduação em Agronomia pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Câmpus de Jaboticabal, SP, e em dezembro de 2010 graduou-se como Engenheira Agrônoma. Foi bolsista de iniciação científica pela PROEX (Bolsa de Apoio Acadêmico e Extensão I) durante o ano de 2006, monitora na disciplina de Solos em 2008, e bolsista de iniciação científica pelo programa PIBIC/Reitoria durante o período de agosto de 2009 a julho de 2010. Iniciou em março de 2011 o curso de Mestrado em Agronomia (Produção Vegetal) na mesma universidade, no qual foi bolsista CAPES. Em fevereiro de 2013 obteve o título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal). Iniciou o curso de doutorado em Agronomia (Produção Vegetal) na mesma universidade, em março de 2013, no qual foi bolsista CNPq, e obteve o título de Doutora em Agronomia (Produção Vegetal) em novembro de 2016.

Aos meus pais,
exemplos de honestidade e força,

As minhas irmãs,
minhas eternas companheiras,

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Um trabalho como esse não é resultado somente de esforço individual, mas da ajuda de muitas mãos, que cederam seu tempo, sua paciência e conhecimento para que o objetivo final fosse alcançado. Por isso agradeço...

A Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, câmpus de Jaboticabal, pela infraestrutura e excelente formação profissional.

Ao Programa de Pós-graduação em Agronomia (Produção Vegetal), pela oportunidade de adentrar ao universo da pesquisa, mais uma vez.

Ao CNPq, pelo auxílio financeiro, o qual foi de importância fundamental para a realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. José Eduardo Corá, meu orientador, pessoa admirável e profissional de competência inquestionável, por ter acreditado em mim mais uma vez.

A Profa. Dra. Célia Regina Paes Bueno, a Profa. Dra. Carolina Fernandes e ao Prof. Dr. Antonio Baldo Geraldo Martins, pela participação da banca do Exame Geral de Qualificação e pelas sugestões para melhoria deste trabalho.

A Profa. Dra. Maria Helena Moraes Spinelli, a Profa. Dra. Carolina Fernandes, ao Prof. Dr. Adolfo Valente Marcelo, ao Prof. Dr. Edson Luiz Mendes Coutinho, pela participação da banca de Defesa da Tese e pelas sugestões para aprimoramento deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Antonio Baldo Geraldo Martins e ao Prof. Edson Luiz Mendes Coutinho, por disponibilizarem seus laboratórios para a realização de algumas análises, essenciais para a composição deste trabalho.

Ao Prof. Dr. José Carlos Barbosa, por sempre estar disponível para sanar minhas dúvidas e auxiliar nas análises estatísticas.

A todos os professores, que contribuíram para meu crescimento pessoal, intelectual e profissional.

A Usina Colombo, pela disponibilização da cinza de bagaço de cana-de-açúcar.

As famílias Volante e Yamane, por disponibilizarem as áreas e darem todo apoio para a condução dos experimentos.

Aos funcionários do Departamento de Solos e Adubos, da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão, da biblioteca e da seção de Pós-Graduação, por estarem sempre disponíveis para me auxiliar e prontos para atender meus pedidos.

Aos amigos que fiz durante o percurso, em especial aos que estiveram do meu lado durante esta etapa: Fernando, Llerme, Felipe, Esmeralda, Gabriel, Liliane, Darlene, Rodrigo e Danilo, por me ensinarem que um bom trabalho é aquele feito por um grupo unido e coeso.

Ao meu pai, Paulo, por me ensinar que as maiores dificuldades devem ser enfrentadas com calma e persistência.

A minha mãe, Marli, que me mostrou como vencer a batalha pela vida, usando a fé e a coragem como armas.

As minhas irmãs e amigas, Paula e Thais, pela presença e ajuda incondicional em todos os momentos, inclusive nos mais difíceis.

A Deus, por ter colocado todas essas pessoas na minha vida, permitindo que eu aprenda com cada uma delas.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
3. MATERIAL E MÉTODOS	8
3.1. Caracterização da cinza de bagaço de cana-de-açúcar	8
3.2. Distribuição da cinza no solo	10
3.3. Experimento 1 – Cinza de bagaço de cana-de-açúcar incorporada ao solo... 10	
3.4. Experimento 2 – Cinza de bagaço de cana-de-açúcar disposta na superfície do solo	11
3.5. Clima.....	13
3.6. Delineamento experimental	13
3.7. Avaliações	13
3.8. Análise dos Resultados	15
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
4.1. Atributos físicos do solo	16
4.2. Atributos químicos do solo.....	25
4.3. Estado nutricional das laranjeiras	37
4.4. Análise do desenvolvimento da planta.....	41
4.5. Produção das laranjeiras, qualidade das frutas e do suco.....	43
5. CONCLUSÃO	47
6. REFERÊNCIAS	48

UTILIZAÇÃO DE CINZA DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR EM POMARES CITRÍCOLAS: EFEITO NO SOLO E NA PLANTA

RESUMO – A cinza de bagaço de cana-de-açúcar, gerada pela queima do bagaço da cana-de-açúcar para produção de energia elétrica no setor sucroenergético, vem sendo aplicada ao solo sem critério técnico/científico. Desta forma, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de cinza de bagaço de cana-de-açúcar, quando incorporada ao solo ou quando aplicada em superfície, nos atributos físicos e químicos de um Argissolo Vermelho, no crescimento das laranjeiras, na produção de frutas e na qualidade do suco, dois, três e quatro anos após a aplicação do resíduo no solo. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com cinco tratamentos e cinco repetições. As doses de cinza foram 0, 5, 10, 20 e 40 t ha⁻¹ (base seca). Concluiu-se que a cinza de bagaço de cana-de-açúcar, até a dose de 40 t ha⁻¹, pode ser distribuída em solos agrícolas, sendo esta, portanto, uma alternativa para o emprego deste resíduo, sem que o solo seja degradado física e quimicamente, e sem causar prejuízos ao desenvolvimento das laranjeiras, produção e qualidade do suco.

Palavras-chave: utilização de resíduo, atributos do solo, citros.

ABSTRACT – Use of sugarcane bagasse ash in orchards citrus: effect on soil and plant

The ash generated by burning the sugarcane bagasse for electricity production on the sugar and ethanol industry, is being applied to the soil without technical/scientific criteria. Thus, the objective of this study was to evaluate the effect of application of sugarcane bagasse ash on soil physical and chemical attributes and on orange trees growth, and fruit and juice quality. The experimental design was randomized blocks, with five treatments and five replications. The ash doses were 0, 5, 10, 20 and 40 t ha⁻¹ (dry basis). The results showed that application of sugarcane bagasse ash to the soil up to 40 ton ha⁻¹ did not affect soil or plant attributes, being an alternative use of this residue on agricultural soils.

Keywords: waste use, soil properties, citrus.

1. INTRODUÇÃO

Muito se espera da agricultura atualmente. Necessita-se aumentar a produtividade, diminuir a utilização de insumos agrícolas, sem perder a qualidade dos produtos. A produção agrícola tem que ser aliada à proteção do meio ambiente, do solo e da água. Busca-se, portanto, por eficiência e sustentabilidade da produção agrícola.

O desenvolvimento sustentável é uma preocupação de todas as cadeias produtivas, e sua importância para o processo produtivo e para o meio ambiente são indiscutíveis, uma vez que preza pela utilização racional dos recursos naturais, além de preocupar-se em reutilizá-los, transformando resíduos em subprodutos, e assim, aumentar a eficiência do processo produtivo.

Para tornar-se sustentável, um processo produtivo deve ser estudado, pois é necessário lançar mão de técnicas e ações economicamente viáveis. A utilização de subprodutos, o reuso de recursos naturais e outros devem estar integrados à produção.

As indústrias procuram formas de transformar seus resíduos em subprodutos, visando à utilização destes em outros setores da produção. Esses subprodutos, principalmente os resultantes da produção de alimentos, geralmente são destinados ao uso agrícola, empregados como fertilizantes ou corretivos da acidez do solo, podendo, ou não, serem usados como complemento da dose de outro insumo.

O emprego de resíduos agrícolas e agroindustriais no solo tem sido considerado a opção mais interessante, tanto do ponto de vista ambiental, como do econômico (PIRES; MATIAZZO, 2009). No entanto, para a adoção do uso destes resíduos na agricultura é necessário que se realizem estudos que comprovem o efeito de cada tipo de resíduo em cada tipo de solo e cultura, para que esta prática não traga prejuízos ao ambiente e/ou à saúde humana.

No Brasil, a cana-de-açúcar é uma das culturas produzidas em maior escala, e é também uma das maiores geradoras de resíduos. O seu processamento origina alguns resíduos, dentre eles o bagaço, que após a queima para a geração de energia elétrica, dá origem à cinza. Portanto, pode-se considerar a cinza como um

resíduo final desse processo, que vem sendo distribuída nos solos agrícolas, com a finalidade de descarte, sem a adoção de nenhum critério técnico.

A inexistência de normatização do uso da cinza de bagaço de cana-de-açúcar em solos agrícolas e a escassez de trabalhos sobre esse tema, que avaliem e verifiquem o seu efeito sobre o solo, as plantas e o ambiente ao longo do tempo, impedem que a cinza seja usada de maneira correta, com eficiência.

A fim de estudar os efeitos da cinza no solo e nas plantas, e verificar as conseqüências do seu emprego na agricultura, foram realizados uma série de trabalhos de pesquisa seqüenciais e complementares, sendo o presente trabalho parte deste conjunto de pesquisas.

A hipótese para este trabalho é de que a cinza de bagaço de cana-de-açúcar pode ser distribuída no solo, sem degradá-lo química e fisicamente, e sem afetar o desenvolvimento, produção e qualidade das frutas e do suco de laranjeiras.

O objetivo foi avaliar o efeito da aplicação de cinza de bagaço de cana-de-açúcar, aplicada na superfície ou incorporada ao solo, nos seus atributos físicos e químicos, no crescimento, produção e qualidade das frutas e do suco de laranjeiras.

2. REVISÃO DE LITERATURA

O Brasil é um país agrícola, e sua economia é baseada na agricultura, responsável por grande parte do produto interno bruto e por empregar muitos brasileiros. Busca-se sempre pelo aumento da produtividade das culturas, sem perda de qualidade, no entanto, é necessário que haja preocupação com a sustentabilidade do processo produtivo.

A ideia de tornar a produção sustentável ainda não está difundida por todo o país, e não faz parte dos hábitos da maior parte das agroindústrias. Acredita-se que o principal problema das agroindústrias seja o volume de resíduo por elas gerado, e a falta de alternativas para seu uso. Por isso, estas acabam por acumular seus resíduos em aterros, o que pode potencializar seu poder de degradação, uma vez que haverá grande concentração de resíduo em uma pequena área.

Esta disposição inadequada gera gastos para a indústria, que precisa de um local adequado, e que atenda as regulamentações vigentes, para armazenamento. Devido à grande quantidade de resíduo gerada, tais locais acabam por não ser uma opção viável. Gupta et al. (2014) afirmam que o armazenamento desses resíduos não é uma alternativa interessante, pois ao mesmo tempo que ocupa uma área considerável, subtraindo-a da produção, pode ocorrer a poluição do local.

Assim sendo, o uso destes resíduos na agricultura é uma alternativa, uma vez que possuem nutrientes essenciais às plantas, são capazes de promover enriquecimento químico do solo, e melhorar seus atributos físicos (GUPTA et al., 2014).

No entanto, para que um resíduo seja destinado ao uso agrícola, alguns cuidados devem ser tomados, como a verificação da existência de uma legislação que regulamente o uso, as características da atividade agrícola e a composição do resíduo. Assim, este só deve ser empregado no solo se esta for uma alternativa ambiental e economicamente viáveis, além de apresentar benefícios agronômicos (PIRES; MATTIAZZO, 2008).

Com a finalidade de descarte, o resíduo é geralmente distribuído no solo sem seguir nenhum critério técnico (FREITAS, 2005). No entanto, tal atitude pode causar problemas, principalmente devido ao uso de doses excessivas (GOMES, 1973). Estudos comprovam que, devido às suas características, o resíduo, quando usado

inadequadamente, pode degradar e contaminar a camada arável do solo, prejudicando o desenvolvimento das culturas e afetando negativamente a microbiota do solo (PANDEY; SINGH, 2010).

A cana-de-açúcar é uma das principais culturas do país, e também é responsável pela geração de enorme quantidade de resíduo. De acordo com Pandey et al. (2000), o bagaço de cana-de-açúcar, resultante do processo industrial para a obtenção do açúcar e/ou álcool, é o principal resíduo desta indústria. O processamento de cada tonelada de cana-de-açúcar gera, em média, 250 kg de bagaço (GOBBI; GROENWOLD; MEDEIROS, 2010), e cerca de 25 kg de cinza, o que corresponde a 10% do peso do bagaço (PAULA et al, 2009).

A indústria sucroenergética está em ascensão no país. A cana-de-açúcar vem tomando o lugar de culturas tradicionais devido à facilidade de cultivo, ao retorno econômico e a menor variação de preços pagos ao produtor. Para se ter uma idéia da importância da cultura para o país, somente no Estado de São Paulo, no ano de 2015, o total da produção de cana-de-açúcar foi de 436 milhões de toneladas (IEA, 2016). O fortalecimento da indústria fez crescer também o volume de bagaço produzido e, conseqüentemente, a quantidade de cinza. Geraram-se no estado de São Paulo, nesta safra, cerca de 109 milhões de toneladas de bagaço e 11 milhões de toneladas de cinza.

A maior parte do bagaço gerado é consumida na própria usina sucroenergética para geração de energia. O restante pode ficar estocado ou ser destinado a outros usos por outras indústrias, como nas caldeiras de usinas processadoras de suco de laranja, para a geração de energia, em substituição a outras fontes, como a lenha e o diesel.

Assim sendo, a cinza resultante dessa queima é considerada resíduo da produção de açúcar e álcool, e também da produção do suco de laranja. Tanto a indústria sucroenergética como a de suco de laranja adotam o mesmo procedimento para dar fim ao resíduo: as cinzas são aplicadas no solo, distribuídas a lanço, nos canaviais e nos pomares de citros, respectivamente.

De acordo com Jank (2010), a cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBCA) geralmente é destinada ao uso nos canaviais, sendo aplicada no solo e incorporada

no período de reforma do canavial, e aplicada em superfície na linha de plantio da cana-planta.

Diferente do que ocorre com a vinhaça, a cinza de bagaço de cana-de-açúcar não possui seu uso regulamentado. Por isso, a cinza é distribuída com a finalidade de descarte.

De acordo com Vassilev et al. (2013) as cinzas resultantes da queima da biomassa vegetal são destinadas, principalmente, à adubação e correção do solo, podendo também ser utilizadas para a produção de materiais de construção, cerâmicas e outros materiais. Teixeira, Peña e Miguel (2010) estudaram o uso da cinza para a fabricação de briquetes; Teixeira et al. (2008) usaram a cinza como fonte de quartzo para a produção de cerâmica vermelha; outros trabalhos utilizaram a cinza na produção de concretos asfálticos (LEAL; CASTRO, 2007) e na fabricação de cimentos (PAULA et al., 2009).

A composição da cinza é influenciada pelas características da biomassa que lhe deu origem e pela exigência nutricional de cada vegetal (PITA, 2009). Geralmente, a cinza de origem vegetal é alcalina, possui, principalmente, potássio, fósforo, cálcio e magnésio (PITA et al., 2012), além de grande quantidade de silício, que variam de 65 a 81% (LIMA, 2011), em sua composição.

A cinza pode conter metais pesados, ainda que em pequena quantidade, em sua composição. No entanto, a presença destes elementos não impede o seu uso na agricultura como reestruturador do solo e/ou fertilizantes em várias culturas (OLANDERS; STEENARI, 1995).

Os efeitos da aplicação da cinza de bagaço de cana-de-açúcar no solo e na planta variam em função das características da cinza e do tipo de solo, portanto, é fundamental a realização de estudos para que se evitem problemas de ordem econômica e ambiental (PANDEY; SINGH, 2010).

A utilização de baixas doses de cinza de bagaço de cana-de-açúcar no solo pode causar alterações benéficas em suas propriedades físicas, químicas e biológicas (PANDEY; SINGH, 2010). No entanto, a adoção de repetidas aplicações desta cinza em uma mesma área, sem prévia avaliação e acompanhamento do comportamento do solo, pode causar impactos negativos no solo e no ambiente (BRUNELLI ; PISANI JR, 2006), entre eles: poluição do solo por metais pesados,

prejuízo na atividade biológica do solo e contaminação do lençol freático e das águas superficiais.

Ao comparar o milho cultivado tradicionalmente, com o emprego dos insumos convencionais (calagem e adubação) durante o ciclo da cultura, e o milho cultivado após a aplicação de doses de cinza de bagaço de cana-de-açúcar, Feitosa, Maltoni e Silva (2009) verificaram que a cinza não necessita de período de incubação, podendo a cultura ser implantada imediatamente após sua incorporação ao solo, diferentemente do que é recomendado para o calcário. O valor do pH e os teores de cálcio e soma de bases obtidos quando se aplicou a cinza foram semelhantes aos encontrados nas parcelas que receberam os insumos comumente usados para o cultivo do milho, o que permitiu que os pesquisadores concluíssem que as maiores doses de cinza testadas (60 e 90 t ha⁻¹) não diferiram do tratamento em que se utilizou adubação mineral.

Em sua revisão sobre cinza advinda da queima de madeira, Augusto, Bakker e Meredieu (2008) observaram que esta apresentava valores de pH próximos a 12, e alto poder de neutralização, o que se explica pela formação de carbonato de cálcio durante a combustão da cinza (STEENARI; KARLSSON; LINQVIST, 1999). Ainda de acordo com Demeyer (2001), se não aplicada em doses excessivas e quando esses resíduos são usados puros, ou seja, sem misturá-los a outros resíduos ou compostos, a cinza de madeira não apresenta riscos para o ambiente.

Em estudo com cinza de bagaço de cana-de-açúcar incorporada em Latossolo Vermelho Amarelo, de textura arenosa, Brunelli e Pisani Jr. (2006) perceberam que o uso da cinza como insumo agrícola é viável pois, além de ser capaz de fornecer nutrientes para as plantas, principalmente cálcio e potássio, promoveu aumento da capacidade de retenção de água no solo, do pH do solo, nos teores de cálcio e magnésio e na soma de bases.

Darolt, Blanco Neto e Zambon (1993) afirmam que a utilização da cinza proporciona duplo benefício, uma vez que melhora a produtividade da cultura e minimiza o efeito poluente causado pela grande quantidade de cinza produzida. Em seu estudo sobre a incorporação de cinza resultante da queima de material vegetal, antes da implantação da cultura da alface, os pesquisadores observaram aumento no pH do solo e do teor de potássio, e diminuição do teor de alumínio trocável com o

incremento das doses de cinza, concluindo que esta pode ser usada em substituição ao calcário. Entre as doses testadas, os maiores valores de pH, de teores de nutrientes e as maiores produtividades foram obtidas quando se aplicou 10 e 15 t ha⁻¹ de cinza antes do plantio das mudas de alface.

Bega (2014), ao avaliar o efeito da aplicação de CBCA em cana-de-açúcar, observou que a cinza não alterou os atributos físicos do solo e não influenciou na produção e qualidade do açúcar e álcool. Além de não prejudicar a cultura, a CBCA forneceu nutrientes ao solo, especialmente o potássio.

A cinza também pode ser utilizada no cultivo de plantas perenes. Entre as culturas perenes de maior importância econômica no Brasil encontra-se a citricultura, uma das principais atividades agrícolas do estado de São Paulo. Em 2015, a produção de laranja, no estado de São Paulo, foi de aproximadamente 12.050.882 toneladas (IEA, 2016). A planta cítrica mais cultivada é a laranjeira da variedade Pera, seguida pela variedade Valência. Ambas as variedades possuem frutos adequados para os mercados interno e externo de fruta fresca e para o processo de industrialização, ou seja, para a produção do suco (PIO et al., 2005).

Yamane (2013) estudou o efeito da cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBCA) distribuída na superfície do solo de um pomar de laranjeiras em formação, e verificou que, com a utilização de doses de até 40 t ha⁻¹ de cinza não houve contaminação do solo, das plantas e dos frutos por metal pesado (cromo, níquel e arsênio), além de haver incremento no teor de potássio no solo e nas folhas.

O efeito da CBCA incorporado ao solo antes da implantação de um pomar de laranjeiras até um ano de idade foi estudado por Volante (2013), que observou que a CBCA não alterou as características físicas e químicas do solo, bem como a nutrição e o desenvolvimento das laranjeiras.

Campos (2014) verificou que o uso de até 80 t ha⁻¹ da CBCA promoveu alterações positivas nos atributos químicos do solo e na atividade biológica dos microrganismos nele presentes.

Em seu estudo, Amaral (2015) caracterizou a CBCA e verificou que a cinza é composta principalmente por silício, cuja participação é cerca de 82%. Verificou que o uso de até 40 t ha⁻¹ não alterou os atributos químicos do solo, nem acrescentou neste, metais pesados.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Para avaliar o efeito da CBCA nos atributos físicos e químicos do solo, e o desenvolvimento das laranjeiras, produção das frutas e qualidade do suco foram conduzidos dois experimentos, os quais diferem, principalmente pela forma que a cinza de bagaço de cana-de-açúcar foi disposta no solo, sendo que, em um deles a cinza foi aplicada na superfície do solo sem incorporação, e no outro, a cinza foi incorporada na camada de 0,0-0,15 m do solo.

3.1. Caracterização da cinza de bagaço de cana-de-açúcar

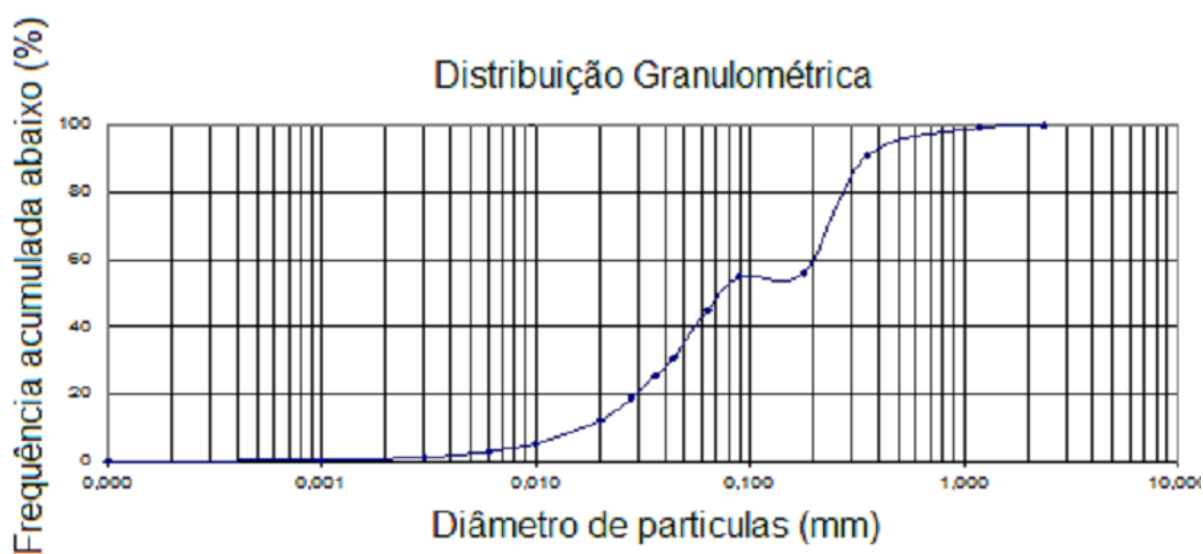
A cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBCA) utilizada neste experimento foi originada da queima de bagaço em caldeiras, cuja temperatura é controlada e varia conforme o teor de umidade do bagaço, chegando a 500-700°C.

A cinza foi caracterizada quimicamente antes da utilização, sendo classificada como resíduo não inerte Classe II A, de acordo com a ABNT NBR 10.004. Portanto, a cinza de bagaço de cana-de-açúcar não foi considerada um resíduo perigoso (Classe II A), e por ser não inerte, pode apresentar certas propriedades, tais como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

O teor de carbono total foi determinado por oxidação térmica, utilizando-se equipamento da marca LECO (modelo CHN628), operado com hélio (99,99%) e oxigênio (99,99%), e temperatura de fornalha a 950°C, cujo limite de detecção é 0,02%. O teor de carbono orgânico foi determinado pelo método Walkley Black descrito em RAIJ et al. (2001), comumente utilizado em análises de rotina para determinação de carbono orgânico em solos, a fim de se calcular o teor de matéria orgânica, cujo valor é obtido multiplicando-se o teor de carbono pelo fator 1,724 (fator de van Bemmelen). As características da cinza encontram-se na Tabela 1. Para a determinação da granulometria da cinza, utilizou-se granulômetro a laser, e os resultados estão expressos na Figura 1.

Tabela 1. Caracterização da cinza de bagaço de cana-de-açúcar.

Umidade	PN	PRNT	pH	C_{orgânico}	C_{total}
----- % -----			CaCl ₂	g dm ⁻³	g kg ⁻¹
40	2,63	2,45	8,3	10,5	188,7
SiO₂	K₂O	P₂O₅	Ca	Mg	S
----- g kg ⁻¹ -----					
822	2,7	1,2	1,2	0,7	0,3
B	Zn	Fe	Mn	Cu	
----- g kg ⁻¹ -----					
0,02	0,01	2,8	0,1	<0,01	

**Figura 1.** Tamanho das partículas da cinza de bagaço de cana-de-açúcar.

A espectroscopia de ressonância magnética nuclear (RMN de C¹³) foi usada para determinar os grupos funcionais na superfície do carbono da CBCA. Quanto à estrutura orgânica da CBCA, ela é composta pelos grupos: alquil (13%), substituídos (23%), aril (36%), fenol (8%), carboxil (12%) e carbonil (8%). Tais características,

principalmente a presença de anéis aromáticos em sua composição, cuja estrutura é de difícil decomposição pelos microorganismos do solo, confere à cinza estabilidade no solo (Oliveira, 2015).

3.2. Distribuição da cinza no solo

A cinza foi distribuída de forma homogênea, manualmente, utilizando-se gabaritos de 0,5 m², em uma faixa de 1 m do tronco, em ambos os lados da planta. As parcelas foram constituídas por 5 plantas ao longo da linha de plantio compreendendo uma área de 35 m² no experimento cuja CBCA foi incorporada, e de 25 m² na área com aplicação de CBCA em superfície. Como bordadura, deixou-se uma planta entre as parcelas, na linha de plantio.

Os tratos culturais do pomar, em ambas as áreas, foram realizados de acordo com as especificações técnicas recomendadas para a cultura, igualmente em todas as parcelas.

3.3. Experimento 1 – Cinza de bagaço de cana-de-açúcar incorporada ao solo

A área experimental localiza-se em Taquaritinga – SP, com latitude de 21°22'57.5"S e longitude de 48°38'49.6"W. O solo da área é um Argissolo Vermelho, classificado seguindo critérios descritos por Santos et al. (2013). Nesta área, a cinza foi disposta na superfície do solo e, posteriormente, incorporada com auxílio de grade aradora, na camada 0,00-0,15 m (Figura 2).

No dia seguinte à operação de incorporação da cinza ao solo, as mudas de laranja-Pera (*Citrus sinensis* L. Osbeck), com porta-enxerto de limão cravo (*Citrus limonia* Osbeck), foram transplantadas em covas, com espaçamento de 3,5 m entre plantas e 7,0 m nas entrelinhas (Figura 2). O experimento foi implantado em maio de 2011 e conduzido durante os anos 2013, 2014 e 2015.

Resultados da análise granulométrica e de atributos químicos do solo da área experimental encontram-se nas Tabelas 2 e 3, respectivamente.



Figura 2. Aplicação e incorporação da cinza de bagaço de cana-de-açúcar.

Tabela 2. Resultado de análise granulométricas do Argissolo Vermelho, localizado no município de Taquaritinga-SP.

Experimento	Camada do solo	Areia	Silte	Argila
	m			
Taquaritinga-SP	0,00-0,20	873	15	112
	0,20-0,40	783	26	191

Tabela 3. Atributos químicos¹ do solo (camada de 0,00-0,20 m) da área experimental localizada em Taquaritinga-SP.

pH	MO	P _(resina)	K	Ca	Mg	H+Al
CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³			
5,1	11	32	3,2	23	11	28
B	Cu	Fe	Mn	Zn		
mg dm ⁻³						
0,12	3,3	23	19,6	1,2		

¹ pH: Potencial hidrogeniônico; MO: matéria orgânica; P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; H+Al: acidez potencial.

3.4. Experimento 2 – Cinza de bagaço de cana-de-açúcar disposta na superfície do solo

Um segundo experimento foi instalado em área situada em Taquaral – SP, com latitude de 21°02'48.6"S e longitude de 48°23'52.2"W. Nesta área experimental, a cinza foi aplicada na superfície do solo, sem incorporação (Figura 3), em pomar

comercial com 18 meses de idade, de laranja-Valência (*Citrus sinensis* L. Osbeck), enxertada em limão-cravo (*Citrus limonia* Osbeck), com espaçamento de 6,5 m x 2,5 m. O experimento foi implantado em maio de 2011 e conduzido durante os anos 2013, 2014 e 2015.

O solo da área foi classificado como Argissolo Vermelho (SANTOS et al., 2013), cujos resultados de análise granulométrica e atributos químicos estão apresentados nas Tabelas 4 e 5.



Figura 3. Aplicação da cinza de bagaço de cana-de-açúcar na superfície.

Tabela 4. Características granulométricas do Argissolo Vermelho, localizado no município de Taquaral-SP.

Experimento	Camada do solo M	Areia	Silte	Argila
		g kg ⁻¹		
Taquaral-SP	0,00-0,20	782	79	139
	0,20-0,40	629	98	273

Tabela 5. Caracterização¹ do solo (camada de 0,00-0,20 m) da área experimental localizada em Taquaral-SP.

pH	MO	P _(resina)	K	Ca	Mg	H+Al
CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³			
5,6	21	68	2,9	29	9	13
B	Cu	Fe	Mn	Zn		
mg dm ⁻³						
0,24	9,4	12	10,8	3,2		

¹ pH: Potencial hidrogeniônico; MO: matéria orgânica; P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; H+Al: acidez potencial.

3.5. Clima

O clima da região onde localizam-se as áreas experimentais é do tipo Aw, segundo classificação de Köppen, com verão quente e úmido e inverno mais acentuado com estação seca. A precipitação pluvial média anual é de aproximadamente 1.500 mm, concentrada no período de setembro a março, com temperatura média anual é de 24 °C.

3.6. Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado para ambos os experimentos foi o de blocos ao acaso, com 5 tratamentos (doses de cinza) e 5 repetições. Foram testadas as doses de 0, 5, 10, 20 e 40 t ha⁻¹ de cinza de bagaço de cana-de-açúcar (base seca), tendo como referência a dose 20 t ha⁻¹, a qual é aquela comumente utilizada pelas indústrias produtoras de açúcar e etanol, em função da exequibilidade na operação de distribuição por equipamentos disponíveis.

3.7. Avaliações

Atributos químicos e físicos do solo foram avaliados nas camadas 0,00-0,15 m e 0,15-0,30 m, no experimento onde a CBCA foi incorporada, e nas camadas 0,00-0,05 m, 0,05-0,15 m e 0,15-0,30 m, no experimento onde a CBCA foi aplicada em superfície sem incorporação. Em cada parcela foram coletadas, com auxílio de trato tipo holandês, dez sub-amostras de terra, para compor uma amostra composta, representativa de cada parcela e camada. As amostras foram secas ao ar e à sombra e passadas em peneira de 2 mm, antes de serem submetidas às análises químicas e físicas. Nas amostras compostas foram determinados: densidade de partículas (GUBIANI; REINERT; REICHERT, 2006), índice de estabilidade dos agregados (KEMPER; ROSENAU, 1986), teores de P, Mg, Ca, K, B, Cu, Mn e Zn, pH (CaCl₂), acidez potencial e carbono orgânico, de acordo com o método proposto por Raij et al. (2001).

Ainda em cada parcela, na camada de 0,00-0,10 m, foram coletadas amostras de terra, com o auxílio de enxadão, visando mínimo de desestruturação, para determinação do diâmetro médio geométrico e diâmetro médio ponderado dos

agregados do solo, segundo método proposto por Castro Filho et al. (1998). No laboratório, as amostras foram destorroadas manualmente ainda úmidas. Em seguida, foram passadas em peneiras para obtenção de agregados com diâmetro entre 6,3 e 4,0 mm. Em seguida, os agregados foram secos ao ar e à sombra, para posteriormente, serem submetidos às análises.

Amostras de solo com estrutura preservada foram coletadas em ambos os experimentos, nas camadas 0,00-0,15 e 0,15-0,30 m, com o auxílio de anéis volumétricos (0,05 m de altura x 0,05 m de diâmetro), em triplicata em cada parcela. Nas amostras foram determinados: densidade do solo (BLAKE; HARTGE, 1986), porosidade total, porcentagem de macro e microporos (CLAESSEN et al, 1997) e resistência do solo à penetração (TORMENA et al., 1998).

A avaliação do estado nutricional das laranjeiras foi realizada seguindo-se as especificações de Raij et al (1997). Para tal, coletou-se a 3ª folha a partir da extremidade de ramo gerado na primavera, num total de 8 folhas por planta, em 5 plantas por parcela. As folhas amostradas foram lavadas, secas em estufa com circulação forçada de ar a 60°C, moídas e submetidas à análise química para determinação dos teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, cobre, ferro, manganês e zinco, seguindo procedimentos descritos por Bataglia et al. (1983).

As avaliações do desenvolvimento das laranjeiras constaram de: altura da planta, diâmetro e volume da copa (BREMER NETO et al., 2008) e diâmetro do tronco (MATTOS JUNIOR et al., 2004), através da expressão $D = Pr/\pi$, sendo Pr o perímetro do tronco. Estas avaliações foram realizadas em todos os anos em que o experimento foi conduzido nas plantas da área em que a cinza foi incorporada, e realizada no ano de 2013, para a área em que a cinza foi aplicada em superfície, quando se iniciou a produção das frutas. Para observação do crescimento das plantas, quando a avaliação foi realizada mais de uma vez, fez-se a subtração dos dados de um ano pelo outro, podendo assim, observar-se o valor numérico referente ao crescimento que as plantas tiveram naquele período.

A produção foi avaliada colhendo-se e pesando-se as frutas das plantas de cada parcela. Dez frutas de cada parcela foram lavadas com água e sabão e secas. Posteriormente, foram pesadas e medidos o diâmetro longitudinal e equatorial com o

auxílio de paquímetro digital. Estas avaliações foram realizadas em todos os anos em que o experimento foi conduzido nas frutas coletadas na área em que a cinza foi aplicada na superfície e no ano de 2015, nas frutas coletadas na área que a cinza foi incorporada, ano em que se iniciou a produção das frutas.

O suco foi analisado na manhã seguinte à colheita. Até o momento da análise do suco, as frutas foram conservadas em geladeira, a aproximadamente 8° C. Fez-se a leitura da coloração da casca de cada fruta utilizando um colorímetro (CR-400, MINOLTA) e a determinação da firmeza do fruto com o uso de um penetrômetro de bancada (Fruit Firmness tester). O suco das dez laranjas foi extraído em espremedor de suco tipo industrial, até que todas as células fossem rompidas. Pesaram-se as cascas e o bagaço de cada parcela. No suco foram determinados: determinação de pH (pH-700, INSTRUTHERM), coloração (colorímetro CR-400, MINOLTA), determinação do Brix (refratômetro manual, ATAGO), acidez titulável e vitamina C.

O índice de coloração da casca e do suco foi calculado pela fórmula do índice de cor: $IC = 1000 \times a \times L \times b$, onde os valores de a, L e b são obtidos nas leituras feitas com o colorímetro.

As avaliações foram realizadas anualmente, no mês de maio de 2013, 2014 e 2015, ou seja, aos 2, 3 e 4 anos após a aplicação de cinza de bagaço de cana-de-açúcar no solo.

3.8. Análise dos Resultados

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (Teste F), seguindo o esquema de parcelas subdivididas para os atributos físicos e químicos do solo, sendo que as doses de cinza corresponderam às parcelas e as épocas de amostragem do experimento às subparcelas. Para as demais análises seguiu-se o esquema de delineamento em blocos casualizados. A comparação das médias foi realizada utilizando-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade. O efeito das doses, quando significativo, foi avaliado por meio de regressão polinomial.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Atributos físicos do solo

A macro e microporosidade, porosidade total do solo, a densidade de partículas, a densidade do solo e o índice de estabilidade dos agregados não foram alterados pela adição de cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBCA), independente do modo como a cinza foi aplicada no solo e da camada de solo das quais as amostras foram coletadas (Tabela 6, 7 e 8).

Tabela 6. Efeito das doses de CBCA na macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total do solo (PT), densidade do solo (Ds), resistência do solo à penetração (RP), densidade de partículas (Dp) e índice de estabilidade de agregados (IEA) após a incorporação da cinza.

Tratamentos	Ma	Mi	PT	Ds	RP	Dp	IEA
Doses de CBCA t ha ⁻¹	%	%	%	g cm ⁻³	MPa	g cm ⁻³	%
0,00-0,15 m							
0	14	24	38	1,60	1,50	2,61	79
5	14	24	38	1,58	1,42	2,58	78
10	13	25	38	1,58	1,49	2,59	80
20	14	24	38	1,50	1,55	2,63	80
40	15	25	39	1,57	1,42	2,57	80
F ¹	0,34 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,66 ^{ns}	1,00 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,71 ^{ns}
CV ² (%)	30	14	5	4	25	4	5
0,15-0,30 m							
0	8	24	32	1,73	2,55	2,60	62
5	8	24	32	1,73	2,42	2,60	62
10	7	30	37	1,67	2,36	2,60	62
20	7	25	32	1,72	2,42	2,59	63
40	8	24	32	1,73	2,52	2,60	62
F ¹	0,08 ^{ns}	1,35 ^{ns}	1,31 ^{ns}	1,58 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,17 ^{ns}
CV ² (%)	40	32	25	5	20	1	11

¹: ns = não significativo (P>0,05). Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. ²: coeficiente de variação.

Estes resultados são semelhantes aos encontrados por Bega (2015), ao testar a adição de até 40 t ha⁻¹ de cinza de bagaço de cana-de-açúcar, incorporada ou não ao solo cultivado com cana-de-açúcar. O efeito não significativo da cinza nas

propriedades do solo pode ser explicado pela característica do resíduo utilizado na pesquisa. Como o bagaço foi queimado a aproximadamente 700 °C, praticamente toda a matéria orgânica que possuía foi queimada, restando 5,6 % de carbono orgânico na CBCA.

Tabela 7. Efeito das doses de CBCA na macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total do solo (PT), densidade do solo (Ds) e resistência do solo à penetração (RP) após a aplicação da cinza em superfície.

Tratamentos Doses de CBCA – t ha ⁻¹	Ma %	Mi %	PT %	Ds g cm ⁻³	RP Mpa
0,00-0,15 m					
0	10	25	35	1,65	2,10
5	10	25	35	1,67	2,04
10	10	25	35	1,65	1,87
20	9	26	35	1,65	1,92
40	9	25	34	1,66	2,06
F ¹	0,27 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,95 ^{ns}
CV ² (%)	32	9	6	3	19
0,15-0,30 m					
0	8	25	33	1,69	2,17
5	8	24	32	1,71	2,21
10	6	25	31	1,71	2,22
20	6	25	31	1,71	2,27
40	6	25	31	1,71	2,16
F ¹	2,84 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,20 ^{ns}
CV ² (%)	21	7	6	3	18

¹: ns = não significativo (P>0,05). Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. ²: coeficiente de variação.

Além disso, a estrutura orgânica predominante na superfície do carbono da CBCA pertence ao grupo funcional aril, o que confere à cinza maior estabilidade no solo (OLIVEIRA, 2015). Os resíduos de plantas queimadas favorecem a formação de ácidos húmicos por oxidação química (KUMADA, 1983) e a lenta oxidação das cadeias laterais deste carbono mantêm a estabilidade da matéria orgânica no solo (GLASER et al., 2003). Dessa forma, a cinza está presente no solo, porém, não é

capaz de alterar os atributos físicos do solo devido ao tipo e, principalmente, à pequena quantidade de carbono por ela adicionados.

Pandey e Singh (2010) obtiverem resultados diferentes. Eles notaram que a cinza, resultante das indústrias que produzem carvão, pode modificar os atributos químicos, físicos e biológicos do solo. Isto sugere que, apesar da cinza ter capacidade para modificar os atributos do solo, deve-se considerar as diferenças entre os tipos de cinza, que variam de acordo com as características da biomassa que a origina (Pita, 2009).

Tabela 8. Efeito das doses de CBCA na densidade de partículas (Dp) e no índice de estabilidade dos agregados (IEA) após a aplicação da cinza em superfície.

Tratamentos Doses de CBCA - t ha ⁻¹	Dp	IEA
	g cm ⁻³	%
0,00-0,05 m		
0	2,59	67
5	2,57	63
10	2,58	63
20	2,57	62
40	2,60	63
F ¹	1,34 ^{ns}	0,92 ^{ns}
CV ² (%)	2	12
0,05-0,15 m		
0	2,57	56
5	2,60	54
10	2,59	54
20	2,58	56
40	2,60	54
F ¹	1,94 ^{ns}	0,26 ^{ns}
CV ² (%)	1	13
0,15-0,30 m		
0	2,59	42
5	2,57	39
10	2,59	41
20	2,59	43
40	2,61	40
F ¹	1,15 ^{ns}	1,01 ^{ns}
CV ² (%)	2	13

¹: ^{ns} = não significativo (P>0,05). Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. ²: coeficiente de variação.

Considerando a época de avaliação e a camada 0,00-0,15 m, observou-se que a época em que a amostragem foi realizada não influenciou a porcentagem de macro, micro e porosidade total do solo quando a CBCA foi incorporada ao solo (Tabela 9). No entanto, os valores de IEA e resistência do solo à penetração diminuíram com o tempo, e os de densidade de partículas e densidade do solo, aumentaram. Na camada 0,15-0,30 m observou-se que a resistência do solo à penetração diminuiu com o tempo, enquanto que a densidade de partícula e o índice de estabilidade de agregados aumentaram. Não houve influência da época em que as avaliações foram realizadas na macro e microporosidade e porosidade total do solo, e na densidade do solo.

Quando a CBCA foi disposta na superfície (Tabela 10 e 11), a porcentagem de macroporos e a porosidade total do solo diminuíram com o passar do tempo nas amostragens realizadas nas camadas de 0,00-0,15 e 0,015-0,30 m, enquanto que a porcentagem de microporos e a densidade do solo aumentaram. A resistência à penetração do solo da camada 0,00-0,15 m manteve certa constância, apesar de ter variado ao longo do período de condução do experimento, e da camada 0,15-0,30 m não foi influenciada pelo tempo.

Observou-se que a densidade de partículas da camada de 0,00-0,05 m diminuiu com o tempo; no entanto, nas camadas 0,05-0,15 e 0,15-0,30 m a densidade de partículas aumentou com o passar do tempo. Notou-se que índice de estabilidade de agregados diminuiu ao longo dos anos nas amostradas coletadas nas camadas 0,00-0,05 e 0,05-0,15 m, enquanto que o efeito do tempo não foi significativo para a camada 0,15-0,30 m.

A interação doses de CBCA x época de avaliação não foi significativa para os atributos físicos do solo (Tabela 12 e 13), exceto para a porcentagem de microporos observada na camada 0,00-0,15 m, quando a cinza foi aplicada na superfície do solo (Tabela 14). A porcentagem de microporos do solo aumentou com o tempo quando aplicou-se a dose de 5 e 20 t ha⁻¹ de cinza, e apesar de apresentar variações, a porcentagem de microporos foi mantida quando aplicou-se a dose de 40 t ha⁻¹.

A CBCA possui como característica o pequeno diâmetro das partículas que a compõem (Figura 1), devido a isso, a cinza apresenta partículas que podem caminhar pelo perfil do solo e preencher os seus poros, aumentando, assim, a

densidade do solo. Somado ao caminhamento das partículas pelo perfil do solo, o aumento da densidade de partículas e da densidade do solo pode ser resultado da acomodação natural e conseqüente rearranjo das partículas do solo com o passar do tempo. A grande quantidade de silício presente na cinza (cerca de 82%) também pode contribuir para esse comportamento do solo.

Tabela 9. Efeito da época de amostragem na macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total do solo (PT), densidade do solo (Ds), resistência do solo à penetração (RP), densidade de partículas (Dp) e índice de estabilidade de agregados (IEA) após a incorporação da cinza.

Tratamentos	Ma	Mi	PT	Ds	RP	Dp	IEA
Época de amostragem	%	%	%	g cm ⁻³	MPa	g cm ⁻³	%
0,00-0,15 m							
2013	15	24	39	1,56 b	1,76 a	2,55 b	90 a
2014	13	25	38	1,57 ab	1,34 b	2,60 ab	73 c
2015	14	24	38	1,60 a	1,33 b	2,64 a	75 b
F ¹	2,39 ^{ns}	1,70 ^{ns}	0,98 ^{ns}	4,55*	13,91**	4,75*	228,78*
CV ² (%)	20	8	4	3	22	4	4
0,15-0,30 m							
2013	8	23	32	1,73	2,98 a	2,54 b	61 b
2014	8	28	36	1,68	2,35 b	2,60 a	63 a
2015	7	25	32	1,74	2,03 b	2,66 a	63 a
F ¹	1,95 ^{ns}	1,86 ^{ns}	1,80 ^{ns}	2,65 ^{ns}	26,43**	11,46**	4,60*
CV ² (%)	29	36	28	6	19	3	6

¹: * = significativo (P<0,05); ** = significativo (P<0,01); ^{ns} = não significativo (P>0,05). Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. ²: coeficiente de variação.

Basu et al. (2009) concluíram que o solo, quando misturado com cinza até a proporção 1:1, apresenta maior porosidade e menor densidade, oferecendo portanto menor resistência ao crescimento das raízes, além de possuir maior capacidade de retenção de água.

A proporção CBCA:solo é muito menor quando se aplica o resíduo no campo, em condições não controladas, simulando o uso que o agricultor faria a cinza; nestas condições, Yamane (2013) e Volante (2013), em suas pesquisas, não observaram efeito das doses de cinzas testadas nas propriedades físicas do solo, o que foi confirmado por este trabalho.

Tabela 10. Efeito da época de amostragem na macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total do solo (PT), densidade do solo (Ds) e resistência do solo à penetração (RP) após a aplicação da cinza em superfície.

Tratamentos	Ma	Mi	PT	Ds	RP
Época de amostragem	%	%	%	g cm ⁻³	MPa
0,00-0,15 m					
2013	10 b	25 b	35 ab	1,65 b	2,06 a
2014	12 a	24 b	36 a	1,64 b	1,76 b
2015	7 c	27 a	34 b	1,68 a	2,18 a
F ¹	25,01 ^{**}	16,61 ^{**}	7,68 ^{**}	6,56 ^{**}	9,06 ^{**}
CV ² (%)	23	5	6	3	18
0,15-0,30 m					
2013	8 a	25 b	33 a	1,69 b	2,33
2014	8 a	25 b	33 a	1,68 b	2,14
2015	4 b	26 a	30 b	1,75 a	2,14
F ¹	35,52 ^{**}	6,55 ^{**}	27,89 ^{**}	26,09 ^{**}	2,55 ^{ns}
CV ² (%)	26	5	5	2	16

¹: ** = significativo (P<0,01). Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. ²: coeficiente de variação.

Islabão et al. (2016) ao pesquisarem o efeito da incorporação de até 120 t ha⁻¹ de cinza de casca de arroz na camada de 0,00 a 0,10 m de profundidade, observaram que a densidade do solo desta camada diminuiu com o incremento da dose de cinza, enquanto que a macroporosidade e a porosidade total do solo aumentam de acordo com o aumento da dose de cinza.

Em relação à distribuição dos agregados por classe de tamanho (Tabela 15 e 16), não houve efeito da aplicação de cinza, independentemente do modo como ela foi distribuída no solo.

Nota-se que, apesar de se tratar do mesmo tipo de solo (Argissolo Vermelho), o solo da área experimental cuja cinza foi incorporada apresentou agregados de tamanhos maiores do que a área em que a cinza foi distribuída na superfície, sem incorporação. Como dito anteriormente, possivelmente isto se deve ao maior contato das partículas de solo com a cinza.

Tabela 11. Efeito da época de amostragem na densidade de partículas do solo (Dp) e no índice de estabilidade de agregados (IEA) após a aplicação da cinza em superfície.

Tratamentos	Dp	IEA
Época de amostragem	g cm ⁻³	%
0,00-0,05 m		
2013	2,55 c	69 a
2014	2,61 a	46 c
2015	2,59 b	51 b
F ¹	42,31**	95,79**
CV ² (%)	1	10
0,05-0,15 m		
2013	2,54 c	67 a
2014	2,62 a	46 c
2015	2,60 b	51 b
F ¹	41,46**	95,79**
CV ² (%)	1	10
0,15-0,30 m		
2013	2,56 c	41
2014	2,63 a	41
2015	2,59 b	42
F ¹	17,08**	0,37 ^{ns}
CV ² (%)	2	11

¹: ** = significativo (P<0,01); ^{ns} = não significativo (P>0,05). Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. ²: coeficiente de variação.

Tabela 12. Efeito da interação dose de CBCA x época de amostragem nos atributos físicos do solo após a incorporação da cinza.

Parâmetros	F ¹	
	0,00-0,15 m	0,15-0,30 m
Ma	0,39 ^{ns}	0,74 ^{ns}
Mi	0,31 ^{ns}	1,02 ^{ns}
PT	1,01 ^{ns}	0,83 ^{ns}
Ds	1,07 ^{ns}	0,45 ^{ns}
RP	0,61 ^{ns}	0,77 ^{ns}
Dp	0,80 ^{ns}	0,40 ^{ns}
IEA	0,45 ^{ns}	0,44 ^{ns}

¹: ^{ns} = não significativo (P>0,05).

Tabela 13. Efeito da interação dose de CBCA x época de amostragem nos atributos físicos do solo *após a aplicação da cinza em superfície*.

Parâmetros	F ¹		
	0,00-0,15 m		0,15-0,30 m
Ma	0,76 ^{ns}		1,36 ^{ns}
Mi	2,61 ^{**}		0,47 ^{ns}
PT	0,59 ^{ns}		1,58 ^{ns}
Ds	0,49 ^{ns}		2,16 ^{ns}
RP	0,62 ^{ns}		0,95 ^{ns}
	0,00-0,05 m	0,05-0,15 m	0,15-0,30 m
Dp	0,75 ^{ns}	1,32 ^{ns}	0,71 ^{ns}
IEA	1,62 ^{ns}	1,62 ^{ns}	1,34 ^{ns}

¹: ** = significativo (P<0,01); ^{ns} = não significativo (P>0,05).

Tabela 14. Microporosidade do solo (Mi) em função das doses de CBCA e das épocas de amostragem, *quando a cinza foi aplicada em superfície*.

Época de amostragem	Doses de CBCA – t ha ⁻¹					
	Mi (%)					
	0	5	10	20	40	F ¹
2013	26	23 B	26	25 B	26 A	1,99 ^{ns}
2014	25	25 B	25	25 B	23 B	0,82 ^{ns}
2015	26	27 A	26	27 A	27 A	0,69 ^{ns}
F¹	1,78 ^{ns}	8,77 ^{**}	0,33 ^{ns}	5,59 ^{**}	10,61 ^{**}	

¹: ** = significativo (P<0,01); ^{ns} = não significativo (P>0,05). Médias seguidas pela mesma letra, maiúsculas na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Quando considera-se a época de amostragem, notou-se que na área em que a cinza foi incorporada, houve decréscimo da porcentagem de agregados pertencentes às classes 4,0-2,0 e 2,0-1,0 mm com o passar do tempo, e aumento na porcentagem dos agregados menores que 0,125 mm. Para a área em que a cinza foi aplicada em superfície, observou-se decréscimo da porcentagem de agregados pertencentes às classes 4,0-2,0, 2,0-1,0, 1,0-0,500 e 0,250-0,125 mm durante o período de condução do experimento, e incremento na porcentagem dos agregados das classes 6,3-4,0, 0,500-0,250 e menores que 0,125 mm; observou-se também aumento do DMP dos agregados amostrados nesta área.

Tabela 15. Diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) e distribuição dos agregados por classe após incorporação da CBCA.

Tratamentos	Classes dos agregados (mm)								
	DMP	DMG	6,3-4,0	4,0-2,0	2,0-1,0	1,0-0,500	0,500-0,250	0,250-0,125	<0,125
	mm	mm	----- % -----						
Doses de CBCA (D) - t ha ⁻¹									
0	2,61	1,41	41,07	9,22	3,61	8,33	21,74	9,03	7,00
5	2,18	1,04	32,02	8,90	4,26	10,46	26,09	11,17	9,09
10	2,62	1,33	41,38	9,36	3,14	7,60	21,58	9,96	6,97
20	2,40	1,23	36,12	9,87	4,10	9,21	23,38	9,92	7,41
40	2,42	1,25	37,09	9,06	3,75	9,38	22,90	10,03	7,79
F ¹	1,26 ^{ns}	1,53 ^{ns}	1,40 ^{ns}	0,96 ^{ns}	3,87 ^{ns}	3,06 ^{ns}	0,64 ^{ns}	1,47 ^{ns}	0,42 ^{ns}
CV ² (%)	26	36	34	1587	23	27	38	24	29
Época de amostragem (E)									
2013	2,48	1,39	38,35	8,84 b	4,30 a	9,44	21,54	10,96	6,56 b
2014	2,48	1,26	37,2	11,32 a	3,75 ab	8,66	22,56	9,20	7,30 ab
2015	2,37	1,12	37,04	7,68 c	3,27 b	8,89	25,31	9,91	7,90 a
F ¹	0,27 ^{ns}	2,43 ^{ns}	0,08 ^{ns}	45,18 ^{**}	6,40 ^{**}	0,78 ^{ns}	2,52 ^{ns}	1,94 ^{ns}	3,66 [*]
CV ² (%)	25	35	34	15	27	26	27	32	24
DxE	0,32 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,34 ^{ns}	1,12 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,64 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,56 ^{ns}

¹: * = significativo (P<0,05); ** = significativo (P<0,01); ^{ns} = não significativo (P>0,05). Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. ²: coeficiente de variação.

Tabela 16. Diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) e distribuição dos agregados por classe após aplicação da CBCA em superfície.

Tratamentos	Classes dos agregados (mm)								
	DMP	DMG	6,3-4,0	4,0-2,0	2,0-1,0	1,0-0,500	0,500-0,250	0,250-0,125	<0,125
	mm	mm	----- % -----						
Doses de CBCA (D) - t ha ⁻¹									
0	1,20	0,48	13,25	7,32	4,32	8,71	30,14	23,66	12,59
5	1,00	0,41	9,68	6,76	4,03	8,22	32,1	25,59	13,62
10	0,97	0,4	8,97	6,68	3,96	8,92	31,79	25,68	13,98
20	0,64	0,4	8,75	6,70	4,08	8,61	21,71	25,41	14,37
40	1,00	0,42	10,03	6,30	4,00	8,62	33,27	24,25	13,53
F ¹	2,30 ^{ns}	2,36 ^{ns}	2,11 ^{ns}	1,33 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,38 ^{ns}	1,64 ^{ns}	1,32 ^{ns}	1,25 ^{ns}
CV ² (%)	25	21	48	24	22	18	11	12	17
Época de amostragem (E)									
2013	0,91 b	0,40	7,60 b	6,82 a	4,68 a	9,97 a	30,40 b	27,70 a	12,86 b
2014	1,14 a	0,45	12,34 a	7,41 a	3,73 b	7,05 c	31,09 b	23,87 b	14,57 a
2015	1,02 ab	0,43	10,51 a	5,65 b	3,83 b	8,83 b	34,57 a	23,19 b	13,42 ab
F ¹	6,60 ^{**}	2,84 ^{ns}	8,45 ^{**}	14,8 ^{**}	14,40 ^{**}	28,43 ^{**}	12,46 ^{**}	9,97 ^{**}	6,40 ^{**}
CV ² (%)	21	16	41	18	17	16	10	15	13
DxE	0,94 ^{ns}	0,70 ^{ns}	0,96 ^{ns}	1,53 ^{ns}	1,06 ^{ns}	0,45 ^{ns}	1,44 ^{ns}	0,60 ^{ns}	0,54 ^{ns}

¹: * = significativo (P<0,05); ** = significativo (P<0,01); ^{ns} = não significativo (P>0,05). Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. ²: coeficiente de variação.

4.2. Atributos químicos do solo

Os teores fósforo, cálcio, magnésio, e os valores de pH e acidez potencial não foram alterados pela adição de cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBCA), independentemente do modo de aplicação no solo e da camada de solo em que a amostragem foi realizada (Tabela 17 e 18).

Essa falta de resposta da aplicação da cinza no solo pode ser explicada pelos teores iniciais destes nutrientes em cada área (Tabela 4 e 6).

Tabela 17. Teor de fósforo (P), matéria orgânica (MO), potássio(K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), valores de pH e acidez potencial (H+Al) do solo em função das doses de CBCA, após incorporação da cinza.

Tratamentos Doses de CBCA t ha ⁻¹	P	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al
	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	----- mmol _c dm ⁻³ -----	-----	-----	-----
0,00-0,15 m							
0	35	14	5,06	3,1 b	20	10	23,8
5	55	14	5,04	4,0 a	24	9	24,6
10	44	14	4,99	4,2 a	20	9	24,7
20	38	15	4,96	3,9 a	19	9	26,0
40	45	16	4,96	4,4 a	19	9	26,2
F ¹	1,46 ^{ns}	1,35 ^{ns}	0,40 ^{ns}	6,58 ^{**}	0,76 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,80 ^{ns}
CV ² (%)	56	14	5	19	49	16	17
0,15-0,30 m							
0	26	10	4,69	2,8 b	12	6	27,1
5	21	10	4,75	3,2 b	13	6	25,7
10	18	10	4,71	2,8 b	13	6	27,1
20	21	10	4,65	3,3 b	12	6	27,5
40	22	10	4,74	4,2 a	12	6	27,2
F ¹	0,26 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,44 ^{ns}	15,21 ^{**}	0,31 ^{ns}	1,04 ^{ns}	0,33 ^{ns}
CV ² (%)	107	18	5	17	28	18	17

¹: ** = significativo (P<0,01); ^{ns} = não significativo (P>0,05). Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. ²: coeficiente de variação.

Para o potássio, houve diferença significativa quando a cinza foi incorporada e quando foi aplicada em superfície. Quando a cinza foi incorporada, na camada 0,00-0,15 m, observou-se que quando a CBCA foi aplicada no solo o teor de potássio foi maior, porém não houve diferença entre as doses (Figura 4); na camada 0,15-0,30 m houve incremento no teor de potássio apenas quando aplicou-se 40 t ha⁻¹ de CBCA (Figura 4).

Quando a cinza foi aplicada em superfície, observou-se incremento no teor de potássio somente na camada 0,05-0,15 m, quando a dose de 40 t ha⁻¹ de CBCA se diferenciou das demais (Figura 5).

Tal comportamento se deve ao fato de o potássio ser o nutriente encontrado em maior quantidade na composição da cinza (Tabela 2). Cada tonelada de CBCA adiciona ao solo 2,7 Kg de K₂O. Assim sendo, a incorporação de 5, 10, 20 e 40 t ha⁻¹

de CBCA adicionou ao solo 13,5, 27, 54 e 108 kg de K₂O. Esse resultado pode ser explicado, também, pelo efeito da incorporação da cinza no solo; a incorporação promoveu maior contato entre as partículas da cinza com as do solo, permitindo, então, que o potássio se deslocasse da cinza para o complexo sortivo do solo.

Tabela 18. Teor de fósforo (P), matéria orgânica (MO), potássio(K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), valores de pH e acidez potencial (H+Al) do solo em função das doses de CBCA, após aplicação da cinza em superfície.

Tratamentos Doses de CBCA t ha ⁻¹	P	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al
	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	-----	mmol _c dm ⁻³	-----	-----
0,00-0,05 m							
0	100	19	5,65	2,8	47	15,1	20,2
5	93	18	5,58	3,1	41	16,1	20,1
10	105	19	5,58	3,0	43	13,3	20,4
20	171	19	5,72	5,1	51	17,8	18,3
40	98	20	5,67	3,4	47	15,1	18,4
F ¹	1,07 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,51 ^{ns}	1,24 ^{ns}	0,66 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,86 ^{ns}
CV ² (%)	107	18	6	93	41	47	22
0,05-0,15 m							
0	62	13	5,07	2,3 b	23	6,2	25,1
5	57	13	5,06	2,8 ab	22	6,0	24,5
10	65	13	5,05	2,8 ab	23	6,4	26,3
20	65	14	5,05	2,9 ab	22	6,07	25,6
40	60	13	5,03	3,0 a	21	6,0	25,7
F ¹	0,68 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,02 ^{ns}	4,41 [*]	0,07 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,17 ^{ns}
CV ² (%)	27	17	9	19	49	44	24
0,15-0,30 m							
0	31	12	5,22	2,6	23	6,9	22,3
5	24	11	5,15	2,8	20	6,1	21,7
10	28	11	5,29	3,0	23	8,2	21,1
20	31	12	5,29	2,9	24	7,5	21,0
40	28	11	5,25	3,0	22	7,8	21,9
F ¹	0,58 ^{ns}	1,11 ^{ns}	0,22 ^{ns}	1,15 ^{ns}	0,60 ^{ns}	1,35 ^{ns}	0,10 ^{ns}
CV ² (%)	52	16	9	24	37	38	31

¹: * = significativo (P<0,05); ^{ns} = não significativo (P>0,05). Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. ²: coeficiente de variação.

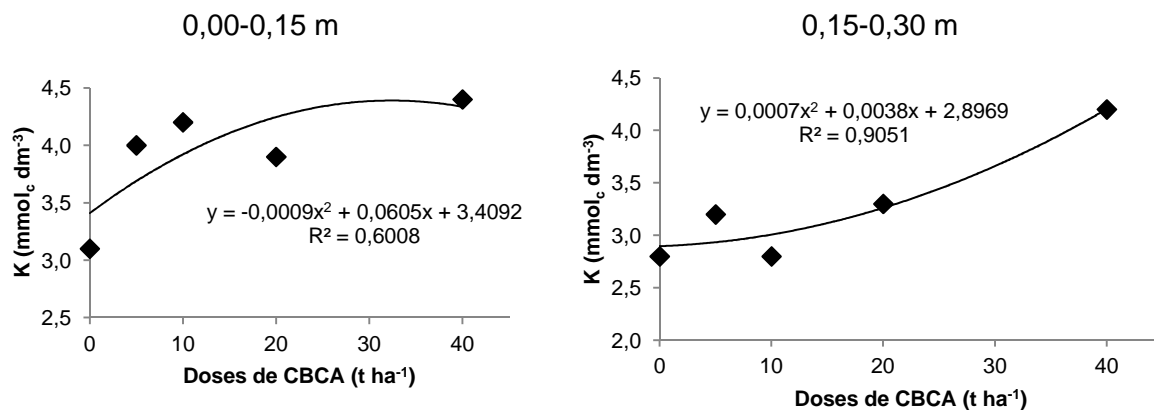


Figura 4. Teor de potássio no solo, nas camadas de 0,00-0,15 e 0,15-0,30 m, após a incorporação da cinza.

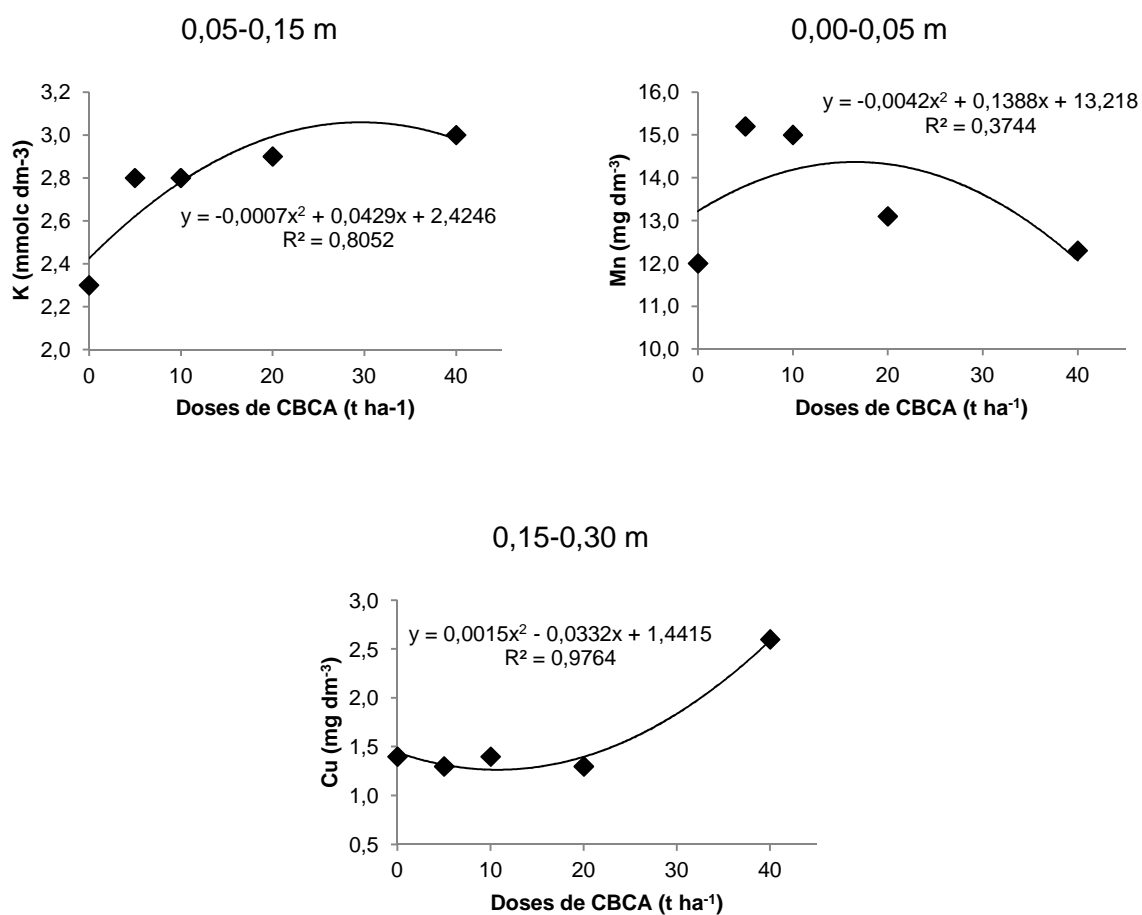


Figura 5. Teor de potássio (camada 0,05-0,15 m), teor de manganês (camada 0,00-0,05 m) e teor de cobre (camada 0,15-0,30 m), após a aplicação de CBCA na superfície.

Gupta et al. (2014) afirmam que a adição de 10 t ha⁻¹ de cinzas vegetais (cinza de bagaço de cana-de-açúcar e cinza resultante da queima da casca de arroz) por eles estudadas em solo que não ocorre no Brasil, além de serem capazes de melhorar as propriedades físicas do solo, têm a capacidade de fornecer fósforo e potássio para as plantas.

Quando a cinza foi incorporada ao solo, observou-se alteração nos teores de alguns nutrientes: manganês, na camada de 0,00-0,15 m, e cobre na camada de 0,15-0,30 m (Tabela 19 e Figura 5).

A dose de 5 t ha⁻¹ de CBCA foi a única que se diferenciou da testemunha, apresentando teor de manganês do solo superior às outras doses testadas. Para o cobre, a dose que apresentou o maior teor do nutriente e se diferenciou das demais foi a de 40 t ha⁻¹.

Tabela 19. Teor de enxofre (S-SO₄²⁻), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) no solo em função das doses de CBCA, após incorporação da cinza.

Tratamentos	S-SO ₄ ²⁻	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Doses de CBCA t ha ⁻¹	----- mg dm ⁻³ -----					
0,00-0,15 m						
0	3	0,24	1,5	21	12,0 b	1,4
5	3	0,26	1,7	21	15,2 a	1,6
10	3	0,27	1,8	20	15,0 ab	1,4
20	4	0,25	1,8	25	13,1 ab	1,4
40	2	0,26	1,7	25	12,3 ab	1,5
F ¹	3,41 ^{ns}	2,55 ^{ns}	2,78 ^{ns}	1,38 ^{ns}	4,18 [*]	0,74 ^{ns}
CV ² (%)	43	12	17	38	21	32
0,15-0,30 m						
0	4	0,22	1,4 b	16	14,2	0,7
5	5	0,24	1,3 b	14	11,7	0,6
10	5	0,22	1,4 b	13	15,0	0,6
20	5	0,25	1,3 b	16	13,8	0,7
40	5	0,25	2,6 a	15	15,6	1,2
F ¹	0,67 ^{ns}	2,83 ^{ns}	8,80 ^{**}	1,23 ^{ns}	2,59 ^{ns}	1,17 ^{ns}
CV ² (%)	34	15	44	32	26	114

¹: * = significativo (P<0,05); ** = significativo (P<0,01); ^{ns} = não significativo (P>0,05). Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. ²: coeficiente de variação.

Os teores de boro, cobre, ferro, manganês, zinco e enxofre no solo não foram alterados pela adição de CBCA, em todas as camadas amostradas quando a cinza foi disposta em superfície (Tabela 20).

Os valores dos atributos químicos do solo obtidos nas amostragens realizadas, quando a cinza foi incorporada ou aplicada em superfície, encontram-se nas tabelas 21, 22, 23 e 24.

Tabela 20. Teor de enxofre (S-SO₄²⁻), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) do solo em função das doses de CBCA, após aplicação da cinza em superfície.

Tratamentos Doses de CBCA t ha ⁻¹	S-SO ₄ ²⁻	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- mg dm ⁻³ -----					
0,00-0,05 m						
0	3	0,77	10,2	17	7,3	5,9
5	4	0,58	9,7	14	9,3	5,6
10	3	0,61	9,2	15	8,5	6,0
20	4	0,68	9,9	12	7,8	6,1
40	3	0,73	9,3	16	8,4	6,4
F ¹	1,74 ^{ns}	0,70 ^{ns}	0,47 ^{ns}	1,21 ^{ns}	1,43 ^{ns}	1,09 ^{ns}
CV ² (%)	46	56	25	43	29	18
0,05-0,15 m						
0	4	0,75	8,6	20	11,6	3,5
5	3	0,76	8,9	16	13,4	3,6
10	4	0,61	7,9	17	13,0	3,7
20	4	0,65	9,9	16	12,1	4,5
40	3	0,8	9,4	19	13,3	3,7
F ¹	1,07 ^{ns}	1,43 ^{ns}	0,94 ^{ns}	0,73 ^{ns}	0,78 ^{ns}	1,25 ^{ns}
CV ² (%)	31	36	33	49	28	35
0,15-0,30 m						
0	5	0,74	4,2	12	9,7	1,9
5	5	0,88	2,9	9	9,2	1,5
10	5	0,75	2,8	9	10,2	2,0
20	4	0,63	3,6	9	8,3	1,5
40	4	0,79	3,6	11	10,5	1,3
F ¹	0,25 ^{ns}	1,97 ^{ns}	2,33 ^{ns}	0,92 ^{ns}	1,11 ^{ns}	0,66 ^{ns}
CV ² (%)	68	32	42	50	33	81

¹: ns = não significativo (P>0,05). Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. ²: coeficiente de variação.

Verificou-se que quando a cinza foi incorporada (Tabela 21 e 23), na camada de 0,00-0,15 m, aumentou-se os teores de potássio, enxofre, cobre, ferro e manganês, bem como os valores de acidez potencial do solo; os valores de pH e os teores de cálcio, magnésio e boro diminuíram; e o teor de matéria orgânica se manteve no solo durante o período de tempo avaliado neste experimento. Na camada de 0,15-0,30 m observou-se aumento nos teores de matéria orgânica, potássio, enxofre, ferro e manganês, além da acidez potencial do solo; os valores de pH e os teores de cálcio, magnésio e boro diminuíram; e os teores de fósforo e cobre se mantiveram praticamente constantes durante o período avaliado.

Tabela 21. Teor de fósforo (P), matéria orgânica (MO), potássio(K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), valores de pH e acidez potencial (H+Al) do solo em função da época de amostragem, após incorporação da cinza.

Tratamentos Época de amostragem	P	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al
	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	----- mmol _c dm ⁻³ -----			-----
0,00-0,15 m							
2013	39	15 ab	5,43 a	2,4 b	28 a	11,6 a	17,3 c
2014	43	13 b	4,60 c	4,9 a	15 b	7,1 c	34,3 a
2015	48	16 a	4,98 b	4,5 a	19 b	9,4 b	23,6 b
F ¹	0,78 ^{ns}	8,23 ^{**}	98,31 ^{**}	102,42 ^{**}	16,87 ^{**}	49,54 ^{**}	193,77 ^{**}
CV ² (%)	59	17	4	17	38	17	12
0,15-0,30 m							
2013	8 b	8 b	5,07 a	1,5 c	14 a	7,9 a	19,9 c
2014	45 a	11 a	4,57 b	4,4 a	14 a	5,7 b	32,8 a
2015	11 b	11 a	4,49 b	3,8 b	10 b	4,6 b	28,0 b
F ¹	15,80 ^{**}	12,59 ^{**}	62,74 ^{**}	98,62 ^{**}	14,27 ^{**}	27,29 ^{**}	98,21 ^{**}
CV ² (%)	121	25	4	24	26	26	12

¹: ** = significativo (P<0,01); ^{ns} = não significativo (P>0,05). Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. ²: coeficiente de variação.

Quando a cinza foi distribuída na superfície (Tabela 22 e 24), observou-se que os teores de matéria orgânica, cálcio, magnésio, cobre e zinco e valores de pH aumentaram com o tempo na camada de 0,00-0,05 m; os teores de ferro e manganês e a acidez potencial do solo diminuíram; e os teores de potássio, enxofre e boro, apesar de apresentarem variação durante o período,

mantiveram-se constantes.

Na camada de 0,05-0,15 m, os teores de matéria orgânica, cálcio, magnésio, cobre e zinco, e os valores de pH aumentaram durante o período de condução do experimento; a acidez potencial e os teores de ferro e zinco diminuíram; o teor de potássio, magnésio, enxofre, boro e manganês tiveram variações durante o período, mas mantiveram certa constância.

Tabela 22. Teor de fósforo (P), matéria orgânica (MO), potássio(K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), valores de pH e acidez potencial (H+Al) do solo em função da época de amostragem, após aplicação da cinza em superfície.

Tratamentos Época de amostragem	P	MO	pH	K	Ca	Mg	H+AL
	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	-----	mmol _c dm ⁻³	-----	-----
0,00-0,05 m							
2013	95	14 b	5,20 b	3,9 ab	32 b	8,5 c	24,6 a
2014	162	21 a	5,83 a	4,9 a	55 a	23,8 a	18,0 b
2015	85	22 a	5,90 a	1,6 b	50 a	14,2 b	15,8 b
F ¹	2,45 ^{ns}	99,89 ^{**}	44,65 ^{**}	5,78 ^{**}	20,94 ^{ns}	29,54 ^{**}	26,16 ^{**}
CV ² (%)	118	12	5	103	30	46	23
0,05-0,15 m							
2013	77 a	12 b	4,79 b	2,6 b	17 b	4,4 b	28,8 a
2014	60 b	14 a	5,17 a	3,1 a	26 a	8,6 a	24,8 b
2015	49 c	14 a	5,20 a	2,6 b	24 a	5,4 b	22,6 b
F ¹	24,13 ^{**}	31,00 ^{**}	24,78 ^{**}	11,94 ^{**}	13,00 ^{**}	33,43 ^{**}	16,49 ^{**}
CV ² (%)	23	8	5	15	28	31	15
0,15- 0,30 m							
2013	35	10 b	5,24	2,8 b	23	7,0 b	20,1 b
2014	31	12 a	5,2	3,0 a	23	8,5 a	23,2 a
2015	19	12 a	5,28	2,8 ab	21	6,4 b	21,6 ab
F ¹	11,43 ^{**}	33,65 ^{**}	1,04 ^{ns}	3,96 ^{**}	1,68 ^{ns}	18,82 ^{**}	6,01 ^{**}
CV ² (%)	43	9	4	11	21	17	14

¹: ** = significativo (P<0,01); ^{ns} = não significativo (P>0,05). Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. ²: coeficiente de variação.

Na camada de 0,15-0,30 m, observou-se aumento no teor de matéria orgânica, enxofre, boro, manganês e zinco com o tempo; o teor de potássio, magnésio e a acidez potencial mantiveram-se constantes no solo, apesar de variar durante o período de condução do experimento.

Essas variações nos valores e teores dos atributos avaliados durante o experimento pode ser resultado do manejo do solo e dos tratos culturais adotados na citricultura, isso porque a adição de cinza, independentemente da maneira que é aplicada no solo, apesar de algumas exceções (potássio, manganês e cobre), não foi capaz de causar alterações nos atributos químicos do solo. Isso se deve, principalmente, à pequena quantidade de nutrientes presentes na cinza.

Tabela 23. Teor de enxofre ($S-SO_4^{2-}$), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) no solo em função da época de amostragem, após incorporação da cinza.

Tratamentos Época de amostragem	S-SO ₄ ²⁻	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- mg dm ⁻³ -----					
0,00-0,15 m						
2013	1 c	0,25 b	1,5 b	16 b	9,5 b	1,6
2014	4 a	0,37 a	1,5 b	23 a	14,9 a	1,3
2015	3 b	0,14 c	2,1 a	27 a	16,3 a	1,6
F ¹	24,89**	251,83**	25,92**	10,87**	28,80**	2,50 ^{ns}
CV ² (%)	52	14	19	38	25	40
0,15-0,30 m						
2013	2 c	0,24 b	1,1 b	10 b	8,6 c	0,4
2014	5 b	0,36 a	2,2 a	18 a	13,3 b	1,0
2015	7 a	0,11 c	1,5 b	17 a	20,3 a	0,8
F ¹	54,11**	133,80*	9,95**	14,92**	64,38**	2,84 ^{ns}
CV ² (%)	38	22	53	38	26	129

¹: * = significativo (P<0,05); ** = significativo (P<0,01); ^{ns} = não significativo (P>0,05). Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. ²: coeficiente de variação.

Houve efeito da interação doses de CBCA x época de amostragem, quando a cinza foi incorporada ao solo, nos teores de potássio e boro obtidos nas amostras coletadas na camada de 0,00-0,15 m, e nos teores de potássio e cobre, para as coletadas na camada de 0,15-0,30 m (Tabela 25).

Tabela 24. Teor de enxofre (S-SO₄²⁻), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) do solo em função da época de amostragem, após aplicação da cinza em superfície.

Tratamentos Época de amostragem	S-SO ₄ ²⁻	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- mg dm ⁻³ -----					
0,00-0,05 m						
2013	2 b	0,38 b	8,0 b	21 a	10,5 a	4,0 c
2014	4 a	1,24 a	8,1 b	11 b	5,4 c	5,8 b
2015	2 b	0,39 b	13,0 a	13 b	8,8 b	8,2 a
F ¹	10,47**	44,58**	74,71**	40,85**	47,59**	145,37**
CV ² (%)	42	54	17	26	23	15
0,05-0,15 m						
2013	2,04 b	0,37 b	8,6 b	22 a	14,6 a	4,3 a
2014	5,48 a	1,30 a	8,3 b	14 c	9,4 b	3,3 b
2015	2,32 b	0,48 b	10,0 a	17 b	14,1 a	3,7 b
F ¹	41,79**	52,00**	8,30**	21,77**	47,12**	12,20**
CV ² (%)	45	49	18	24	16	18
0,15-0,30 m						
2013	2,88 c	0,33 c	3,3	11	9,4 b	1,3 b
2014	4,96 b	1,32 a	3,7	10	7,5 c	1,3 b
2015	6,44 a	0,62 b	3,3	10	11,9 a	2,3 a
F ¹	18,89**	45,39**	1,32 ^{ns}	0,77 ^{ns}	16,64**	334*
CV ² (%)	43	50	32	20	28	93

¹: * = significativo (P<0,05); ** = significativo (P<0,01); ^{ns} = não significativo (P>0,05). Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. ²: coeficiente de variação.

Analisando-se a interação doses de CBCA x época de avaliação (Tabela 26), nota-se que o teor de potássio aumentou com o tempo nas duas camadas de solo avaliadas, quando a cinza foi incorporada. Observou-se, também, que as doses testadas se diferenciaram da testemunha, mas não houve diferença entre elas na avaliação realizada em 2014, na camada de 0,00-0,15 m. Na camada de 0,15-0,30 m, o maior teor de potássio foi observado na dose de 40 t ha⁻¹ de CBCA, e os menores, na dose de 10 t ha⁻¹ e na testemunha.

O teor de boro observado na camada de 0,00-0,15 m diminuiu com o tempo em todas as amostragens realizadas. No ano de 2014, o maior teor de boro foi observado na dose de 40 t ha⁻¹, e os menores, na testemunha e na dose de 10 t ha⁻¹.

Tabela 25. Efeito da interação dose de CBCA x época de amostragem nos atributos químicos do solo após a incorporação da cinza.

Parâmetros	F ¹	
	0,00-0,15 m	0,15-0,30 m
P	0,41 ^{ns}	0,23 ^{ns}
MO	1,42 ^{ns}	0,91 ^{ns}
pH	1,11 ^{ns}	0,54 ^{ns}
K	2,96 [*]	2,18 [*]
Ca	1,52 ^{ns}	0,49 ^{ns}
Mg	0,95 ^{ns}	0,31 ^{ns}
H+Al	1,49 ^{ns}	1,00 ^{ns}
S-SO ₄ ²⁻	1,86 ^{ns}	0,26 ^{ns}
B	2,49 [*]	0,60 ^{ns}
Cu	0,94 ^{ns}	5,99 ^{**}
Fe	2,17 ^{ns}	1,83 ^{ns}
Mn	1,38 ^{ns}	0,60 ^{ns}
Zn	0,47 ^{ns}	0,70 ^{ns}

¹: * = significativo (P<0,05); ** = significativo (P<0,01); ns = não significativo (P>0,05).

Para o cobre, apenas na dose de 40 t ha⁻¹ observou-se variações no teor deste nutriente no solo, no entanto, a essa variação foi pequena, e se considerarmos o período de condução do experimento, pode-se dizer que os valores se mantiveram constantes. No ano de 2014, apenas a dose de 40 t ha⁻¹ se diferenciou das demais, apresentando o maior teor de cobre.

Quando a cinza foi aplicada em superfície, a interação doses de CBCA x época de avaliação não foi significativa para nenhum dos atributos químicos do solo avaliados (Tabela 27).

Tabela 26. Teor de potássio (K), boro (B) e cobre (Cu) em função das doses de CBCA e das épocas de amostragem, *quando a cinza foi incorporada*.

Época de amostragem	Doses de CBCA – t ha ⁻¹					
	0,00-0,15 m					
K (mmol _c dm ⁻³)						
	0	5	10	20	40	F ¹
2013	1,9 C	2,4 C	2,4 B	2,4 B	2,8 C	1,10 ^{ns}
2014	3,2 bB	5,3 aA	5,2 aA	4,9 aA	5,8 aA	10,80 ^{**}
2015	4,3 A	4,2 B	4,9 A	4,2 A	4,7 B	1,10 ^{ns}
F ¹	16,96 ^{**}	24,71 ^{**}	26,48 ^{**}	20,19 ^{**}	25,91 ^{**}	
B (mg dm ⁻³)						
	0	5	10	20	40	F ¹
2013	0,23 B	0,28 B	0,23 B	0,26 B	0,25 B	1,57 ^{ns}
2014	0,36 bA	0,37 abA	0,43 aA	0,34 bA	0,36 bA	5,56 ^{**}
2015	0,13 C	0,14 C	0,14 C	0,14 C	0,16 C	0,39 ^{ns}
F ¹	49,73 ^{**}	52,52 ^{**}	83,78 ^{**}	37,81 ^{**}	37,96 ^{**}	
0,15-0,30 m						
K (mmol _c dm ⁻³)						
	0	5	10	20	40	F ¹
2013	1,0 B	1,6 B	1,3 B	1,6 B	2,2 C	2,07 ^{ns}
2014	3,6 cA	4,3 bcA	3,4 cA	4,7 bA	6,2 aA	12,26 ^{**}
2015	3,8 A	3,6 A	3,8 A	3,6 A	4,2 B	0,59 ^{ns}
F ¹	20,42 ^{**}	17,29 ^{**}	15,46 ^{**}	20,55 ^{**}	33,64 ^{**}	
Cu (mg dm ⁻³)						
	0	5	10	20	40	F ¹
2013	1,1	1,1	1,1	1,1	1,3 B	0,05 ^{ns}
2014	1,2 b	1,5 b	1,6 b	1,5 b	5,0 aA	19,91 ^{**}
2015	1,7	1,5	1,5	1,3	1,4 B	0,22 ^{ns}
F ¹	0,82 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,41 ^{ns}	31,86 ^{**}	

¹: ** = significativo (P<0,01); ^{ns} = não significativo (P>0,05). Médias seguidas pela mesma letra, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 27. Efeito da interação dose de CBCA x época de amostragem nos atributos químicos do solo *após a aplicação da cinza em superfície*.

Parâmetros	F ¹		
	0,00-0,05 m	0,05-0,15 m	0,15-0,30 m
P	0,94 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,72 ^{ns}
MO	1,05 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,81 ^{ns}
pH	0,96 ^{ns}	0,48 ^{ns}	1,17 ^{ns}
K	0,83 ^{ns}	0,49 ^{ns}	1,15 ^{ns}
Ca	1,39 ^{ns}	0,62 ^{ns}	0,56 ^{ns}
Mg	0,56 ^{ns}	0,51 ^{ns}	1,11 ^{ns}
H+Al	0,76 ^{ns}	0,56 ^{ns}	1,15 ^{ns}
S-SO ₄ ²⁻	1,30 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,71 ^{ns}
B	0,78 ^{ns}	1,21 ^{ns}	1,27 ^{ns}
Cu	0,90 ^{ns}	1,04 ^{ns}	2,06 ^{ns}
Fe	0,56 ^{ns}	0,70 ^{ns}	0,69 ^{ns}
Mn	1,79 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,45 ^{ns}
Zn	1,72 ^{ns}	1,25 ^{ns}	0,76 ^{ns}

¹: * = significativo (P<0,05); ** = significativo (P<0,01); ^{ns} = não significativo (P>0,05).

4.3. Estado nutricional das laranjeiras

Analisando-se o teor de nutrientes presentes nas folhas das laranjeiras (Tabela 28, 29, 30 e 31), verifica-se que não houve influência da cinza de CBCA na nutrição da planta, independentemente da forma que a cinza foi aplicada ao solo. A ausência de efeito se deve ao fato de que a CBCA contém baixos teores desses elementos, e, assim como não conseguiu alterar a quantidades destes no solo, não conseguiu alterar os teores contidos nas folhas das laranjeiras.

Exceção é feita para a amostragem realizada em 2015, para os resultados da área em que a cinza foi aplicada em superfície (Tabela 31). Nesta avaliação, houve efeito das doses de CBCA sobre o teor dos micronutrientes. Os maiores teores de cobre foram observados quando se aplicou a dose de 10 e 40 t ha⁻¹ de CBCA; de ferro, quando aplicou-se 40 t ha⁻¹; e de manganês, quando aplicou-se 10 e 40 t ha⁻¹, no entanto vale ressaltar que nesse caso, não houve diferença dessas doses citadas e da testemunha. O maior teor de boro foi obtido na testemunha, que diferiu apenas da dosagem de 5 t ha⁻¹.

Tabela 28. Teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) nas folhas das laranjeiras, após incorporação da CBCA.

Tratamentos Doses de CBCA - t ha ⁻¹	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- g kg ⁻¹ -----					
2013						
0	26,68	1,46	14,28	18,72	2,10	1,24
5	25,56	1,72	16,50	21,12	2,14	1,36
10	26,92	1,74	16,62	20,16	2,24	1,34
20	26,22	1,62	15,92	21,04	2,22	1,22
40	26,64	1,62	16,46	21,62	2,28	1,30
F ¹	0,92 ^{ns}	0,82 ^{ns}	1,48 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,31 ^{ns}	1,10 ^{ns}
CV ² (%)	5	17	11	16	13	10
2014						
0	25,42	1,80	13,34	25,78	2,42	1,58
5	24,54	1,76	15,04	23,88	2,26	1,56
10	25,26	1,68	13,08	26,02	2,34	1,54
20	24,70	1,68	12,98	25,42	2,44	1,42
40	25,18	1,66	13,70	26,94	2,42	1,54
F ¹	0,72 ^{ns}	0,50 ^{ns}	2,24 ^{ns}	1,78 ^{ns}	0,93 ^{ns}	0,83 ^{ns}
CV ² (%)	4	11	9	7	7	10
2015						
0	21,62	1,86	12,94	20,70	2,50	1,70
5	21,58	1,94	13,66	19,48	2,42	1,70
10	22,74	1,92	13,46	19,62	2,46	1,68
20	22,72	1,96	13,42	22,14	2,44	2,06
40	21,84	1,86	13,44	20,04	2,54	1,68
F ¹	0,55 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,64 ^{ns}	0,33 ^{ns}	1,01 ^{ns}
CV ² (%)	8	18	8	15	8	21

1: ^{ns} = não significativo (P>0,05). Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. 2: coeficiente de variação.

Tabela 29. Teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) nas folhas das laranjeiras, após aplicação da CBCA em superfície.

Tratamentos Doses de CBCA - t ha ⁻¹	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- g kg ⁻¹ -----					
2013						
0	26,34	1,34	10,14	30,18	2,34	2,00
5	26,42	1,56	11,60	35,10	2,80	2,52
10	26,94	1,48	11,94	34,04	2,48	2,22
20	26,92	1,48	11,36	33,02	2,56	2,32
40	26,14	1,64	11,52	32,66	2,72	2,12
F ¹	0,94 ^{ns}	2,21 ^{ns}	1,61 ^{ns}	2,69 ^{ns}	1,60 ^{ns}	1,59 ^{ns}
CV ² (%)	3	11	11	8	13	16
2014						
0	23,24	1,2	9,84	40,20	2,54	4,06
5	23,62	1,24	9,18	38,56	2,74	2,12
10	22,82	1,18	9,14	42,96	2,06	2,00
20	23,32	1,24	9,66	37,06	2,58	2,08
40	23,76	1,26	9,52	38,62	2,64	2,12
F ¹	1,65 ^{ns}	2,84 ^{ns}	0,52 ^{ns}	3,95 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,93 ^{ns}
CV ² (%)	3	4	10	6	13	6
2015						
0	23,74	1,86	10,04	20,70	2,52	1,92
5	22,10	2,06	9,20	17,34	2,46	1,70
10	22,54	2,06	9,50	19,50	2,60	2,20
20	22,02	2,12	9,10	17,76	2,54	1,70
40	23,36	1,74	9,78	22,46	2,68	1,96
F ¹	2,58 ^{ns}	1,65 ^{ns}	1,89 ^{ns}	3,31 [*]	0,36 ^{ns}	2,07 ^{ns}
CV ² (%)	5	14	7	13	12	17

1: ^{ns} = não significativo (P>0,05). Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. 2: coeficiente de variação.

Tabela 30. Teores de boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) nas folhas das laranjeiras, após incorporação da CBCA.

Tratamentos Doses de CBCA - t ha ⁻¹	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- mg kg ⁻¹ -----				
2013					
0	53,40	2,00	71,00	45,20	7,40
5	48,60	2,00	77,20	44,60	8,00
10	54,60	2,20	98,60	43,40	7,80
20	49,80	2,00	69,00	46,20	8,60
40	56,40	1,80	72,00	40,40	8,80
F ¹	0,61 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,89 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,49 ^{ns}
CV ² (%)	18	34	37	28	23
2014					
0	38,60	5,40	110,80	65,20	3,20
5	40,40	5,60	114,40	64,00	5,20
10	43,80	5,60	116,80	66,80	10,00
20	40,60	5,60	138,00	58,40	6,80
40	40,20	6,00	117,60	60,40	13,40
F ¹	0,27 ^{ns}	0,26 ^{ns}	1,25 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,83 ^{ns}
CV ² (%)	20	17	18	21	128
2015					
0	28,60	7,60	463,20	113,60	21,60
5	31,20	7,40	460,60	80,60	23,20
10	29,80	9,00	466,20	101,60	21,60
20	30,60	8,40	472,00	101,80	23,20
40	31,40	7,60	459,60	92,40	24,40
F ¹	0,30 ^{ns}	0,71 ^{ns}	1,29 ^{ns}	1,99 ^{ns}	2,64 ^{ns}
CV ² (%)	15	37	2	20	7

1: ^{ns} = não significativo (P>0,05). Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. 2: coeficiente de variação.

Tabela 31. Teores de boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) nas folhas das laranjeiras, após aplicação da CBCA em superfície..

Tratamentos Doses de CBCA t ha ⁻¹	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- mg kg ⁻¹ -----				
2013					
0	75,6	6,0	63,6	32,3	7,0
5	62,8	7,0	76,2	43,4	8,2
10	60,8	6,0	67,8	36,4	7,4
20	61,0	7,6	74,8	36,0	6,6
40	58,6	6,4	68,8	36,8	6,6
F	2,13 ^{ns}	0,91 ^{ns}	1,35 ^{ns}	1,94 ^{ns}	0,97 ^{ns}
CV (%)	16	24	14	17	21
2014					
0	71,4	17,2	243,8	74,0	59,0
5	77,2	15,6	210,8	79,6	55,4
10	67,4	16,8	241,6	73,4	60,6
20	74,6	19,0	204,0	77,8	60,0
40	76,8	16,8	239,8	76,0	56,0
F	0,48 ^{ns}	0,63 ^{ns}	1,35 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,13 ^{ns}
CV (%)	18	20	16	15	25
2015					
0	61,40 a	14,80 ab	467,00 ab	50,00 a	62,4
5	47,80 b	10,40 b	448,00 b	40,40 b	48,8
10	51,20 ab	16,00 a	467,60 ab	47,60 a	64,6
20	48,40 ab	12,40 ab	449,40 b	39,40 b	48,2
40	58,00 ab	16,40 a	474,00 a	52,40 a	67,2
F	389 [*]	4,42 [*]	5,20 ^{**}	3,11 [*]	2,64 ^{ns}
CV (%)	13	19	4	16	21

1: ^{ns} = não significativo (P>0,05). Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. 2: coeficiente de variação.

4.4. Análise do desenvolvimento da planta

Não houve efeito da aplicação da CBCA no desenvolvimento das plantas, sendo a cinza incorporada ou não (Tabela 32 e 33), o que pode ser justificado pela baixa quantidade de nutrientes contidos na cinza, associado ao estado inicial da fertilidade do solo, cujos teores de nutrientes se encontravam, em sua maioria, dentro da faixa considerada adequada para o cultivo de citros.

Tabela 32. Altura, diâmetro do tronco e volume da copa das laranjeiras, após incorporação da CBCA.

Tratamentos Doses de CBCA - t ha ⁻¹	altura da planta m	volume da copa m ³	diâmetro do tronco cm
2013/2014			
0	0,43	0,51	2,08
5	0,42	0,45	1,88
10	0,41	0,44	2,02
20	0,40	0,56	1,94
40	0,38	0,45	1,68
F ¹	0,25 ^{ns}	1,56 ^{ns}	0,87 ^{ns}
CV ² (%)	24	19	19
2014/2015			
0	0,01	0,22	1,39
5	0,07	0,09	1,09
10	0,08	0,13	1,47
20	0,08	0,08	1,26
40	0,13	0,12	1,36
F ¹	2,79 ^{ns}	0,39 ^{ns}	2,39 ^{ns}
CV ² (%)	76	152	16

1: ^{ns} = não significativo (P>0,05). Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. 2: coeficiente de variação.

Tabela 33. Altura, diâmetro do tronco e volume da copa das laranjeiras, após aplicação da CBCA em superfície.

Tratamentos Doses de CBCA - t ha ⁻¹	altura da copa m	volume da copa m ³	diâmetro do tronco cm
2013			
0	1,75	0,43	5,57
5	1,70	0,46	5,74
10	1,80	0,54	6,06
20	1,77	0,48	5,88
40	1,77	0,52	6,00
F	0,81 ^{ns}	2,35 ^{ns}	2,29 ^{ns}
CV (%)	5	13	5

1: ^{ns} = não significativo (P>0,05). Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. 2: coeficiente de variação.

4.5. Produção das laranjeiras, qualidade das frutas e do suco

As doses de CBCA testadas não interferiram na produção e a qualidade das frutas e do suco (Tabela 34, 35, 36 e 37). Tal fato pode ser associado à baixa concentração de nutrientes na cinza e, mesmo para os nela presentes em maior quantidade, o teor de nutrientes já contido no solo, na maioria dentro da faixa adequada para o cultivo de citros, não permitiu que os nutrientes contidos na CBCA expressassem efeito nos parâmetros avaliados.

No entanto, estudos demonstram que a adição de cinza resultante da queima de material vegetal, antes da implantação das mudas de alface, promoveu aumento no peso médio e diâmetro médio de cabeças, no número médio de folhas por planta e na produção total de alface quando se aplicou ao solo as doses 10 e 15 t ha⁻¹ (DAROLT; BLANCO NETO; ZAMBON, 1993). Desse modo, nota-se que a cinza pode ter potencial para alterar a produção da cultura, porém, geralmente os resíduos provenientes da agroindústria, por serem desbalanceados quanto aos nutrientes nele presentes, não são usados como única fonte de nutrientes para as plantas, devendo ser complementados por adubos minerais (BERTON, 1997).

Tabela 34. Resistência da fruta à penetração (RP), peso, diâmetro polar e diâmetro equatorial das frutas, número de frutas por caixa (NFC) e produção das laranjeiras após incorporação da CBCA.

Tratamentos Doses de CBCA t ha ⁻¹	RP Kgf	peso da fruta g	diâmetro polar mm	diâmetro equatorial mm	IC casca	NFC	Produção Kg
2015							
0	5,01	218,99	77,52	72,76	-9,19	186,60	57,54
5	5,57	217,96	77,72	72,37	-9,83	187,20	56,05
10	5,26	225,62	78,15	73,54	-9,30	182,00	61,80
20	4,65	215,39	77,09	72,17	-9,43	189,60	51,61
40	5,23	213,83	91,54	72,19	-9,01	190,80	52,02
F ¹	0,55 ^{ns}	0,88 ^{ns}	0,96 ^{ns}	1,12 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,78 ^{ns}	1,06 ^{ns}
CV ² (%)	20	5	18	2	12	5	16

1: ^{ns} = não significativo (P>0,05). Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. 2: coeficiente de variação.

Tabela 35. Resistência da fruta à penetração (RP), peso, diâmetro polar e diâmetro equatorial das frutas, número de frutas por caixa (NFC) e produção das laranjeiras após aplicação da CBCA em superfície.

Tratamentos Doses de CBCA t ha ⁻¹	RP	Peso	diâmetro polar	diâmetro equatorial	IC casca	NFC	Produção
	Kgf	g	mm	mm			Kg
2013							
0	5,34	238,31 a	78,16 a	76,09	-0,92	171,40 b	28,41
5	5,94	218,61 b	75,62 b	74,66	-0,77	187,00 a	26,66
10	6,01	227,16 ab	76,18 ab	75,53	-2,00	180,00 ab	27,88
20	5,35	226,35 ab	76,42 ab	75,84	-0,99	180,40 ab	28,92
40	6,55	231,60 ab	78,03 a	75,65	-1,36	176,60 ab	25,87
F ¹	1,46 ^{ns}	3,88 [*]	5,32 ^{**}	0,90 ^{ns}	1,10 ^{ns}	3,78 [*]	0,29 ^{ns}
CV ² (%)	16	4	1	2	87	4	19
2014							
0	6,07	198,22	71,38	71,28	0,27	206,4	55,55
5	6,47	226,59	70,89	70,92	0,24	192,8	49,54
10	5,62	196,93	70,78	71,63	0,25	208,0	55,01
20	6,26	189,70	70,22	70,29	0,02	215,2	53,84
40	6,27	193,30	71,32	70,68	0,15	211,4	55,42
F ¹	1,35 ^{ns}	0,81 ^{ns}	0,57 ^{ns}	1,05 ^{ns}	1,12 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,95 ^{ns}
CV ² (%)	10	18	2	2	315	11	11
2015							
0	8,91	216,43	75,50	73,16	-3,74	189,0	28,41
5	8,60	201,03	72,91	71,75	-5,21	203,4	26,66
10	8,43	212,37	73,40	72,88	-2,83	193,4	27,88
20	9,05	201,37	72,53	71,75	-4,90	202,8	28,93
40	9,18	215,97	74,70	73,16	-4,32	190,0	25,87
F ¹	0,24 ^{ns}	1,25 ^{ns}	1,74 ^{ns}	0,68 ^{ns}	1,21 ^{ns}	1,31 ^{ns}	0,29 ^{ns}
CV ² (%)	16	7	3	3	46	7	19

1: ^{ns} = não significativo (P>0,05). Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. ²: coeficiente de variação.

Tabela 36. Acidez titulável (AT), vitamina C (Vit. C), sólidos solúveis (SS), índice de coloração do suco (IC), ratio e pH do suco após incorporação da CBCA.

Tratamentos	pH	AT	Vit. C	SS	IC suco	ratio
		g 100g ⁻¹	µg AA/ 10 ml extrato	°Brix		SS/AT
2015						
Doses de CBCA (D) - t						
0	4,44	0,30	400,00	8,80	-4,24	1,00
5	4,42	0,40	451,10	8,80	-3,09	0,69
10	4,44	0,38	362,24	8,44	-2,23	0,73
20	4,44	0,36	471,12	9,08	-2,58	0,79
40	4,38	0,38	424,46	8,68	-3,18	0,70
F ¹	1,00 ^{ns}	1,59 ^{ns}	2,28 ^{ns}	0,98 ^{ns}	1,53 ^{ns}	1,19 ^{ns}
CV ² (%)	1	19	15	6	45	34

1: ^{ns} = não significativo (P>0,05). Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. ²: coeficiente de variação.

Tabela 37. Acidez titulável (AT), vitamina C (Vit. C), sólidos solúveis (SS), índice de coloração do suco (IC), ratio e pH do suco após aplicação da CBCA em superfície.

Tratamentos	pH	AT	Vit. C	SS	IC suco	ratio
		g 100g ⁻¹	µg AA/ 10 ml extrato	°Brix		SS/AT
2013						
0	3,78	0,89	321,21	7,44	-1,27	8,39
5	3,64	0,90	356,71	7,52	-0,60	8,35
10	4,80	0,96	331,60	7,00	-1,23	7,28
20	3,68	0,90	329,87	7,20	-0,99	8,05
40	3,76	0,97	375,76	7,48	-1,18	7,84
F ¹	2,33 ^{ns}	0,91 ^{ns}	0,76 ^{ns}	0,92 ^{ns}	0,70 ^{ns}	1,06 ^{ns}
CV ² (%)	18	10	17	7	69	12
2014						
0	3,55	0,66	478,46	10,24	-2,53	15,47
5	3,53	0,79	492,31	10,48	-4,30	14,33
10	3,56	0,80	452,31	10,20	-3,24	13,12
20	3,49	0,86	486,15	10,40	-3,47	12,23
40	3,56	0,78	464,62	10,40	-2,84	13,54
F ¹	0,21 ^{ns}	0,93 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,26 ^{ns}	1,54 ^{ns}	1,39 ^{ns}
CV ² (%)	4	21	16	5	37	17
2015						
0	4,04 a	0,66	383,33	9,32 b	-6,14	14,20
5	3,89 b	0,72	443,33	10,00 a	-5,15	14,05
10	4,02 ab	0,67	371,67	9,72 ab	-5,37	14,65
20	3,88 b	0,68	386,67	10,24 a	-6,54	15,00
40	3,99 ab	0,66	433,33	9,88 ab	-7,11	15,06
F ¹	4,81 ^{**}	1,68 ^{ns}	1,87 ^{ns}	5,58 ^{**}	0,52 ^{ns}	1,12 ^{ns}
CV ² (%)	2	6	13	3	42	7

1: ^{ns} = não significativo (P>0,05). Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. 2: coeficiente de variação.

5. CONCLUSÃO

A aplicação de até 40 t ha⁻¹ de cinza de bagaço de cana-de-açúcar ao solo não causa degradação física e química ao mesmo, nem tampouco prejuízos ao crescimento das laranjeiras, à produção de frutas e à qualidade do suco.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10.004: resíduos sólidos - Classificação.** 2004. Disponível em: <<http://analiticaqmc.paginas.ufsc.br/files/2013/07/residuos-nbr10004.pdf>>. Acesso em: 27 jun. 2016.

AUGUSTO, L.; BAKKER, M. R. ; MEREDIEU, C. Wood ash applications to temperate forest ecosystems – Potential benefits and drawbacks. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 206, p.181-198, 2008.

BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. **Métodos de análise química de plantas.** Campinas: Instituto Agrônômico, 1983. 48 p. (Boletim Técnico, 78).

BASU, M.; PANDE, M.; BHADORIA, P. B. S.; MAHAPATRA, S. C. Potential fly-ashutilization in agriculture: A global review. **Progress in Natural Science**, London, v.19, n. 10, p. 1173-1186, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.pnsc.2008.12.006> >.

BEGA, R. M. **Aplicação de cinza de bagaço de cana-de-açúcar em Latossolo cultivado com cana-de-açúcar.** 2014. 68 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2014.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis.** Part1, 2 ed. ASA, Madison: American Society of Agronomy, 1986, p. 365-375. (Agronomy monograph, 9).

BREMER NETO, H.; MOURAO FILHO, F. A. A. ; STUCHI, E. S.; SILVA, S. R.; AVILÉS, T. C.; ESPINOZA, N. Desenvolvimento e produção inicial de clones de limeira ácida 'Tahiti' em Bebedouro, SP. In: SBF/INCAPER, 2008, Vitória, ES. **Anais do XX Congresso Brasileiro de Fruticultura.** Vitória, ES: DCM/INCAPER, 2008.

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: **Congresso 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. CAMPOS, L. P. **Aplicação de cinza de bagaço de cana-de-açúcar nos**

atributos químicos e biológicos do solo. 2014. 109 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2014.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 527-538, 1998.

CLAESSEN, M. E. C.; BARRETO, W. O.; PAULA, J. L.; DUARTE, M. N. **Manual de métodos de análise de solo.** 2 ed. Rio de Janeiro: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1997. 247p.

DAROLT, M. R.; BLANCO, M. R. D. V.; ZAMBOM, N. 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**, Amsterdam, v. 77, p. 287-295, 2001. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0960-8524\(00\)00043-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00043-2)>.

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**, Porto Alegre, v. 4, n. 2, 2009.

FREITAS, E. S. **Caracterização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar do município de campos dos goytacazes para uso na construção civil.** 2005. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campo Dos Goytacazes - RJ, 2005.

GLASER, B.; AMELUNG, W. Pyrogenic carbon in native grassland soils along a climosequence in North America. **Global Biogeochemical Cycles**, Hoboken, v. 17, p. 1-8, 2003.

GOBBI, A.; GROENWOLD, J. A.; MEDEIROS, M. H. F. Cinza de bagaço de cana-de-açúcar: Contribuição para a sustentabilidade dos materiais de reparo. IN: **VI Congresso internacional sobre patologias e reabilitação de estruturas**. Córdoba, Argentina, 2010. Disponível em: <http://www.edutecne.utn.edu.ar/cinpar_2010/Topico%203/CINPAR%20126.pdf>. Acesso em: 24 de jun. 2011.

GOMES, R. P. **Adubos e adubações**. Ed. Nobel, São Paulo, 1973. 187 p.

GUBIANI, P. I.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Método alternativo para a determinação da densidade de partículas do solo – exatidão, precisão e tempo de processamento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, p. 664-668, 2006.

GUPTA, R.K.; SINGH, A.; SINGH, Y.; THIND, H. S.; SINGH, B.; SINGH, V. Effects of rice husk ash and bagasse ash on phosphorus adsorption and desorption in an alkaline soil under wheat–rice system. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, London, v. 45, p.1385-1398, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/00103624.2014.884109>>.

IEA. **Área e produção dos Principais Produtos da Agropecuária do Estado de São Paulo**. Disponível em: <http://ciagri.iea.sp.gov.br/nia1/vp.aspx?cod_sis=15>. Acesso em: 20 jun. 2016.

ISLABÃO, G. O.; LIMA, C. L. R.; VAHL, L. C.; TIMM, L. C.; TEIXEIRA, J. B. S. Hydro-Physical Properties of a Typic Hapludult under the Effect of Rice Husk Ash. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 40, p. 1-13, 2016.

JANK, M. S. Uma matriz de combustíveis para o Brasil. In: SOUZA, E. L. L.; MACEDO, I. C. **Etanol e bioeletricidade: a cana-de-açúcar no futuro da matriz energética**. São Paulo: Luc Projetos de Comunicação, 315 p. 2010.

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2.ed. ASA, Madison: American Society of Agronomy, 1986. Part1, p. 425-442. (Agronomy monograph, 9).

KUMADA, K. Carbonaceous materials as a possible source of soil humus. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 29, p. 383-386, 1983.

LEAL, C. L. D.; CASTRO, P. F. Aproveitamento da cinza do bagaço de cana-de-açúcar como fíler em concreto asfáltico. **Vértices**, Campos dos Goytacazes, v. 9, 9-20, 2007.

LIMA, C. Disponibilidade e fósforo para a cana-de-açúcar em solo tratado com compostos orgânicos ricos em silício. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, p. 1222-1227, 2011.

MATTOS JUNIOR, D.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; CARVALHO, S. A. Superfícies de resposta do tangor 'murcott' à fertilização com N, P, e K. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, p. 164-167, 2004.

OLANDERS, B.; STEENARI, B. M. Characterization of ashes from wood and straw. **Biomass and Bioenergy**, v. 8, n. 2, p. 105-115, 1995.

OLIVEIRA, D. L. A. **Caracterização da cinza de bagaço de cana-de-açúcar e aplicação no solo**. 2015. 171 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2015.

PANDEY, V. C.; SINGH, N. Impact of fly ash incorporation in soil systems. **Agriculture, ecosystems an environment**, Amsterdam, v. 136, p. 16-27, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2009.11.013>>.

PANDEY, A.; SOCCOL, C. R.; NIGAM, P.; SOCCOL, V. T. Biotechnological potentialof agroindustrial residues. In: Sugarcane bagasse. **Bioresource technology**, Amsterdam, v. 74, p. 69-80, 2000.

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**, Campina Grande, v.13, n.3, p.353–357, 2009.

PIRES, A. M. M.; MATTIAZZO, M. E. **Avaliação da viabilidade do uso de resíduos na agricultura**. Jaguariúna: EMBRAPA; 2008. (Circular Técnica 19)

PITA, P. V. V. **Valorização agrícola de cinza da co-combustão de bagaço de cana-de-açúcar e biomassa lenhosa**. 2009. 120 f. Dissertação (Mestrado em

Engenharia Agrônoma) Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009.

PITA, V. ; VASCONCELOS, E.; CABRAL, F.; RIBEIRO, H. Effect of ash from sugarcane bagasse and wood co-combustion on corn growth and soil properties. **Archives of Agronomy and Soil Science**, London, v. 58, p.206-212, 2012. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1080/03650340.2012.698000>>.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. 285 p. (Boletim técnico, 100).

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

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: 2013. 353 p.

STEENARI, B. M.; KARLSSON, L.G.; LINDQVIST, O. Evaluation of the leaching characteristics of wood ash and the influence of ash agglomeration. **Biomass and Bioenergy**, Kidlington, v. 16, p. 119-136, 1999.

TEIXEIRA, S. R.; SOUZA, A. E.; SANTOS, G. T. A.; PEÑA, A. F. V.; MIGUEL, A. G. Sugarcane Bagasse Ash as a Potential Quartz Replacement in Red Ceramic. **Journal of the American Ceramic Society**, Malden, v. 91, n. 6, p. 1883-1887, 2008.

TEIXEIRA, S. R.; PEÑA, A. F.; MIGUEL, A. G. Briquetting of charcoal from sugarcane bagasse fly ash (scbfa) as an alternative fuel. **Waste Management**, Kidlington, v. 30, p. 804-807, 2010.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 573-581, 1998.

VASSILEV, S. V. BAXTER, D.; ANDERSEN, L. K.; VASSILEVA, C. G. An overview of the chemical composition of biomass. **Fuel**, Oxford, v. 89: p. 913-933, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2012.09.041>>.

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**. 2013. 49 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2013.

YAMANE, D. R. **Desenvolvimento de laranjeira Valência e caracterização de atributos do solo sob aplicação de cinza do bagaço de cana**. 2013. 95 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2013.