

ANA LARISSA SANTIAGO HANSTED

APROVEITAMENTO DE CINZAS DE CALDEIRA PARA CALAGEM DO SOLO

Botucatu

2020

ANA LARISSA SANTIAGO HANSTED

APROVEITAMENTO DE CINZAS DE CALDEIRA PARA CALAGEM DO SOLO

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia: Energia na Agricultura

Orientador: Prof. Dr. Vladimir Eliodoro Costa

Botucatu

2020

H251a Hansted, Ana Larissa Santiago
 Aproveitamento de cinzas de caldeira para
 calagem do solo / Ana Larissa Santiago Hansted. --
 Botucatu, 2020
 82 p.

 Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista
 (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas,
 Botucatu
 Orientador: Vladimir Eliodoro Costa

 1. Resíduo. 2. Biomassa. 3. Culturas. 4. Eucalipto.
 5. pH. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp.
Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados
fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: APROVEITAMENTO DE CINZAS DE CALDEIRA PARA CALAGEM DO SOLO

AUTORA: ANA LARISSA SANTIAGO HANSTED

ORIENTADOR: VLADIMIR ELIODORO COSTA

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

Prof. Dr. VLADIMIR ELIODORO COSTA
Departamento de Física e Biofísica / Instituto de Biociências de Botucatu - UNESP

Prof. Dr. FABIO MINORU YAMAJI
Ciências Ambientais / Universidade Federal de São Carlos - Campus Sorocaba

Prof. Dr. ADRIANO WAGNER BALLARIN
Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP

Prof. Dr. RICARDO MARQUES BARREIROS
Coordenadoria Executiva / UNESP - Campus de Itapeva

Dr. RAFAEL COSTA PINHEIRO
/ Botucatu/SP

Botucatu, 18 de fevereiro de 2020.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que fizeram possível essa importante etapa.

Aos meus pais Laercio e Máisa pelos incentivos motivadores durante toda a vida, amor, carinho e companheirismo imensuráveis.

Ao meu irmão Felipe pela amizade eterna, pelos conselhos e ajudas (na pesquisa e na minha existência).

Ao meu namorado Rafael pelo encorajamento, calma e apoio em todas as decisões.

Aos meus dois grupos de pesquisa: UNESP (isótopos estáveis) e UFSCar (biomassa e bioenergia), que se transformaram num complemento familiar, e me auxiliaram em todas as etapas do processo.

À Mariana, integrante do CIE que me salvou em inúmeras situações técnicas e que se tornou uma grande amiga.

Ao professor Yamaji que me ensinou a importância da pesquisa, da ética profissional e o valor de um ambiente de trabalho saudável.

Ao professor e orientador Vladimir por me acolher em seu grupo de pesquisa, pela orientação sempre produtiva, construtiva e otimista, pelo suporte técnico e emocional durante o período.

Aos meus incontáveis amigos, que fazem parte da minha história, da minha rotina e dos meus projetos de vida.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela bolsa de estudos para o doutorado e doutorado sanduíche.

RESUMO

A energia renovável surgiu como uma fonte alternativa ao uso de combustíveis fósseis. A biomassa florestal é um resíduo utilizado para geração de energia em indústrias florestais. O processo de queima da biomassa gera as cinzas que são os materiais minerais que não fazem parte da queima, e não apresentam utilidade para as empresas do setor florestal. O objetivo deste estudo foi caracterizar as cinzas produzidas por uma caldeira de biomassa no período de um ano e concomitantemente avaliar o aproveitamento deste material como insumo para a produção de mudas de eucalipto em campo e de trigo em laboratório. O trabalho foi dividido em três capítulos onde o primeiro caracteriza as cinzas de uma caldeira ao longo do período de um ano, considerando os diferentes materiais que são inseridos. Concluiu-se que as cinzas apresentam características homogêneas independente da origem ou procedência. No capítulo dois, utilizou-se uma combinação de cinzas e biochar a base de madeira para o desenvolvimento inicial de trigo. Os resultados mostraram que a adição de cinzas em dosagens mais baixas possibilitou o melhor desenvolvimento do trigo, e a presença do biochar prejudicou a germinação e o produtividade. No terceiro capítulo, avaliou-se o crescimento do eucalipto com a substituição da calagem convencional pela adição das cinzas de caldeira no solo. Foi possível verificar o aproveitamento das cinzas de caldeira de biomassa no processo de calagem do solo para o desenvolvimento de eucalipto. Desta forma, os resultados do trabalho mostraram a viabilidade do aproveitamento de resíduos de caldeira de biomassa em empresas do setor florestal, possibilitando a aplicação do conceito de usos múltiplos das florestas plantadas.

Palavras-chave: Cinzas. Crescimento. Calagem.

ABSTRACT

Renewable energy has emerged as an alternative source for the use of fossil fuels. Forest biomass is a waste used to generate energy in forest industries. The biomass burning process generates the ashes, which are the mineral materials that are not part of the burning, and are of no use to companies in the forestry sector. This study aimed to characterize the ashes produced by a biomass boiler over a period of one year and simultaneously evaluate the use of this material as an input for the production of eucalyptus seedlings in the field and wheat in the laboratory. The work was divided into three chapters where the first characterizes the ashes of a boiler over the period of one year, considering the different materials that are inserted. It was concluded that the ashes have homogeneous characteristics regardless of origin or origin. In chapter two, a combination of ash and wood-based biochar was used for the initial development of wheat. The results showed that the addition of ash in lower dosages enabled better wheat development and the presence of biochar impaired germination and productivity. In the third chapter, eucalyptus growth was evaluated by replacing conventional liming with the addition of boiler ash in the soil. It was possible to verify the utilization of the biomass boiler ash in the process of liming the soil for the development of eucalyptus. In this way, the results of the work show the feasibility of using biomass boiler residues in companies in the forestry sector, enabling the application of the concept of multiple uses of planted forests.

Keywords: Ashes. Growth. Liming

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	15
CAPÍTULO 1 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS CINZAS GERADAS EM UMA CALDEIRA INDUSTRIAL ALIMENTADA POR BIOMASSA.....	29
1.1 INTRODUÇÃO.....	31
1.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	32
1.3 RESULTADOS.....	34
REFERÊNCIAS.....	41
CAPÍTULO 2- UTILIZAÇÃO DE CINZAS DE CALDEIRAS E BIOCHAR À BASE DE MADEIRA NO SOLO PARA O DESENVOLVIMENTO DO TRIGO.....	43
2.1 INTRODUÇÃO.....	45
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	46
2.3 RESULTADOS.....	48
REFERÊNCIAS.....	56
CAPÍTULO 3- UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE CALDEIRA DE BIOMASSA PARA SUBSTITUIÇÃO COMPLETA OU PARCIAL DO PROCESSO DE CALAGEM.....	58
3.1 INTRODUÇÃO.....	60
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	61
3.3 RESULTADOS.....	66
REFERÊNCIAS.....	73
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	76
REFERÊNCIAS.....	77

INTRODUÇÃO GERAL

Os resíduos atualmente são uma preocupação constante em diversos setores. Há uma procura contínua quanto à destinação de produtos que não tem finalidade evidente. O alcance do ciclo fechado dentro de processos produtivos de empresas é cada vez mais objeto de estudo, e é possibilitado em função de pesquisas e trabalhos científicos. Ao se utilizar os materiais anteriormente descartados pode ocorrer dentre todos os benefícios, os ganhos ambientais e econômicos (VALGINHAK; SANTA, 2018; VEGRO; CARVALHO, 1994). Os resíduos agroindustriais e florestais são produzidos em grande quantidade no Brasil. No setor florestal existe uma geração de aproximadamente 48 milhões de toneladas de resíduos, sendo estas, consequência de atividades de campo (70,5%) ou industriais (29,5%) (IBA, 2019).

Ainda de acordo com a Indústria Brasileira de Árvores, IBA (2019), o setor florestal procura realizar uma gestão rígida dos resíduos que produz, buscando diminuir a geração e fazer o destinamento correto deles de acordo com os requisitos legais. Um dos resíduos produzidos em larga escala nas indústrias de papel e celulose e painéis de madeira reconstituída, são as cascas de árvore. Este material já é amplamente reaproveitado dentro das próprias empresas para a geração de energia nas caldeiras de biomassa.

A energia renovável é cada vez mais procurada em função das preocupações ambientais, sociais e econômicas que estão diretamente relacionadas aos impactos que essa atividade pode gerar. Com isso, o tema passou a ser tratado como um artigo estratégico, se fazendo presente em questões de importância mundial (TOLMASQUIM; GUERREIRO; GORINI, 2007). Empresas que geram e consomem energia tem papel fundamental na geração de energia sustentável, pois podem criar programas que auxiliem em questões ambientais e assim, estimular o consumo consciente (KASPERBAUER, 2017).

A energia renovável é uma das maneiras de se promover a sustentabilidade em setores que a utilizam. É um processo limpo, apresenta vantagens ambientais e econômicas, como a menor emissão de gases nocivos ao meio ambiente, quando comparada a combustíveis fósseis, a alta disponibilidade e baixo custo de obtenção (IBA, 2019). As principais fontes de energia renovável – hidráulica, solar, eólica - tem

distribuições de utilização distintas no mundo, em função do acesso e/ou disponibilidade (GÍRIO, 2019).

No Brasil, é possível verificar que as fontes de energia são predominantemente renováveis, com maior expressão da energia hidrelétrica, que apresente um percentual de 64% na oferta interna do país. Quanto à geração de energia elétrica, este percentual é ainda maior com aproximadamente 75,5%. Outras fontes renováveis que merecem destaque são as provenientes de materiais vegetais, como a lenha e resíduos da agricultura/indústria (BRASIL, 2014).

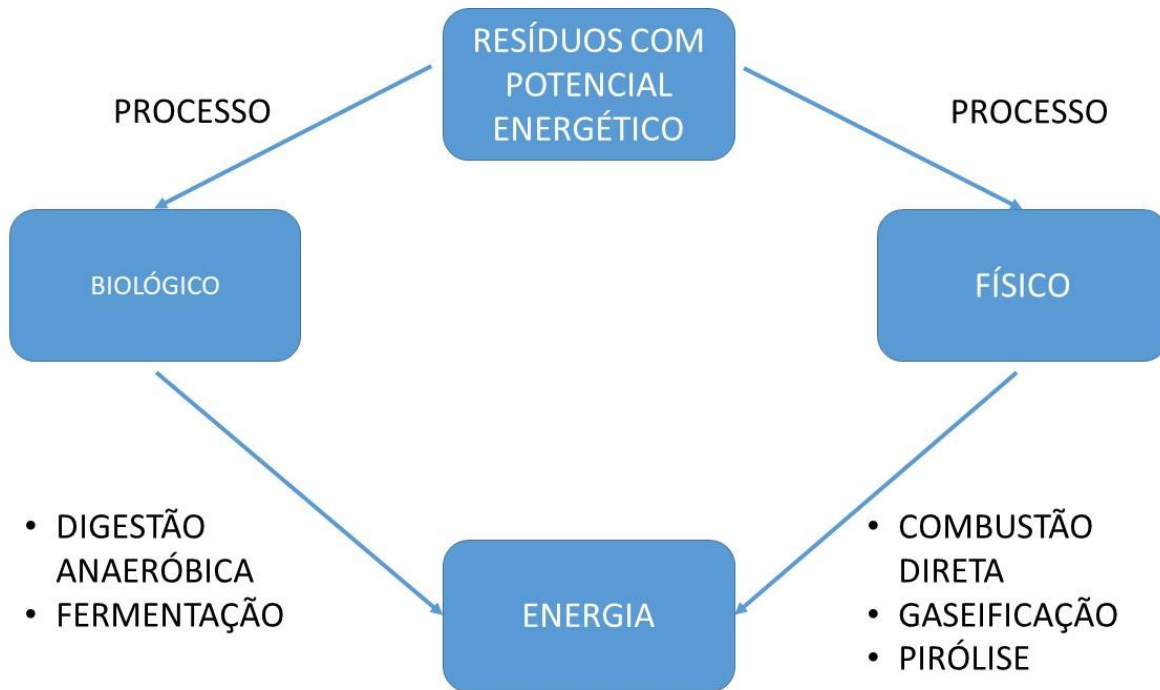
A biomassa vegetal é um dos materiais utilizados atualmente para bioenergia. A biomassa se diferencia dos outros recursos renováveis em função da diversidade de matérias-primas e facilidade de obtenção. Outra vantagem é a possibilidade de conversão do material em energia térmica, eletricidade e combustível (STRZALKA; SCHNEIDER; EICKER, 2017)

Alguns setores industriais utilizam resíduos de biomassa devido ao custo reduzido quando comparado às fontes fósseis. Esta realidade é presente na maior parte das indústrias madeireiras, de papel e celulose, ou produtoras de painéis de madeira reconstituída (MDF, MDP). Nos processos produtivos destas empresas, ocorre a geração de resíduos, sejam estepó de lixa, pó de serra, ou casca das árvores; a maior parte deste material já é utilizada para a queima quando em condições satisfatórias de umidade (STICH et al., 2017).

Válido ressaltar ainda, que um resíduo é classificado desta forma em função de sua inutilidade no processo específico em que está sendo avaliado, porém, com a possibilidade de ser aproveitado em outra atividade. Esta prática é incentivada por planos de gestão de resíduos sólidos, e a utilização deste material em outros setores pode beneficiar as empresas nos quesitos ambientais e econômicos (BRASIL, 2009a). Existem diversas tecnologias para se utilizar resíduos com potencial energético, Figura 1.

Avaliando os processos de forma generalizada, a forma mais comum de se obter energia é pelo processo de combustão direta, uma vez que os outros meios ainda apresentam dificuldades técnicas ou financeiras para um funcionamento viável (GÍRIO, 2019).

Figura 1 - Processos de obtenção de energia a partir de resíduos com potencial energético.



Fonte: Adaptado de Gírio (2019)

Biomassa para energia

A utilização de biomassa para geração de energia é uma prática que ocorre em função de suas vantagens econômicas e ambientais, com a queima de materiais de orgânicos de origem animal ou vegetal. O aproveitamento pode ocorrer à partir de diversas fontes renováveis de biomassa, como a lenha, carvão vegetal, resíduos de origem vegetal (casca de árvore, poda urbana, pó de lixa, pó de serra, entre outros) e provenientes da cana de açúcar (bagaço, palha) (SOARES et al., 2006).

A biomassa de origem florestal apresenta um potencial crescente no país, que conta com mais de 7 milhões de hectares de florestas plantadas (IBA, 2019). Suas características físico-químicas permitem que apresente resultados satisfatórios quanto à geração de calor, seja pela queima de madeira, carvão ou resíduos (SOARES et al., 2006). A biomassa é considerada um importante fator para a diversificação da matriz energética, e desta forma, quando utilizada, resulta em menor dependência nos combustíveis fósseis (BRASIL, 2008).

Ainda de acordo com a Aneel (BRASIL, 2008), a quantificação e utilização da biomassa são prejudicadas por diversos fatores, como a dispersão da matéria-prima, uma vez que diversos materiais podem ser classificados como biomassa (pó de serra, galhos de árvores entre outros); a pulverização do consumo, ou seja, pontos isolados a utilizam. É comum que em regiões de alta dependência da agricultura, a utilização de resíduos agrícolas para a geração de energia (térmica ou elétrica) ocorra com maior intensidade. O setor madeireiro também tem participação significativa neste consumo, as empresas do setor utilizam seus subprodutos, e a biomassa tem uma participação superior à 18% no total de energia produzida (IBA, 2019).

A combustão da biomassa pode ser influenciada por diversos fatores, conforma apresentado pela literatura. Deboni e colaboradores (DEBONI et al., 2019) estudaram a evolução da qualidade de biomassas florestais para geração de energia, e encontraram que embora a procura por biomassas de alta capacidade energética fossem o foco do mercado, a demanda faz com que a falta de qualidade não seja critério eliminatório, e ainda que o poder calorífico útil de todos os materiais avaliados foi diretamente influenciado pela presença de umidade e teor de cinzas.

A possibilidade de produção de biocombustíveis sólidos, briquetes ou peletes, é uma das opções que viabiliza o maior controle do material que é produzido. A compactação para a formação destes compostos permite a produção de um material com formato regular, mais denso e assim com maior poder calorífico por volume. Porém, para que a realização deste processo seja conveniente, é necessário que o produto formado apresente características satisfatórias nas principais análises realizadas: teor de umidade, densidade, granulometria, análise imediata e com maior destaque o poder calorífico (NAKASHIMA et al., 2017).

Quanto aos critérios energéticos, é possível verificar que as biomassas apresentam vantagens quando utilizadas compactadas, mesmo com a presença de resíduos. Sette Junior e colaboradores (SETTE Jr et al., 2018) concluíram que embora a casca de eucalipto seja um material com presença significativa de impurezas, o processo de briquetagem se apresentou como uma alternativa viável energeticamente, com características físicas e mecânicas satisfatórias

O teor de cinzas da biomassa é um fator que pode ser considerado limitante, uma vez que influencia na geração de calor. A utilização de resíduos como biomassa pode influenciar no teor de cinzas, em função do menor controle da

matéria-prima. A presença da casca de árvore, ou palha de cana por exemplo, pode aumentar significativamente o teor de cinzas, quando comparado ao uso da biomassa sem resíduos e isso acarreta em perdas significativas de poder calorífico (HANSTED et al., 2018; NAKASHIMA et al., 2017);

Opções para a redução no teor de cinzas no material com objetivo energético são cada vez mais estudadas, uma vez que qualquer perda na geração de energia acarreta em perdas econômicas. Estudos que avaliam o fracionamento de árvores de eucalipto evidenciam a diferença significativa do teor de cinzas nos diversos setores da árvore (tronco, folhas e galhos) (EUFRADE JUNIOR et al., 2018). Qualquer análise referente às características da biomassa são relevantes, porém destaca-se que deve ser levado em consideração o volume de produção da biomassa que se deseja utilizar, além da disponibilidade na região (LOZANO-MORENO; MARÉCHAL, 2019).

Geração de Resíduos Industriais

As indústrias moveleiras são parte significativa da economia do país. O setor de painéis de madeira ocupou oitavo lugar no ranking mundial dos maiores produtores, atrás apenas de países como China, Estados Unidos e Alemanha. As principais unidades de produção se encontram nas regiões sul e sudeste do país, intensificando o mercado nessas áreas (IBA, 2019).

Este setor gera resíduos biomassa desde a etapa da obtenção da matéria-prima, até o processamento industrial. Na atividade florestal, a maior parte do resíduo (99,7%) é mantida no campo com a função de proteção e fertilização do solo. Já na indústria, 66% são reaproveitados em forma de energia, com a queima nas caldeiras gerando energia térmica ou elétrica. Neste processo, é formado outro resíduo: a cinza, material restante do processo de queima, sem potencial energético (IBA, 2019).

As cinzas podem ser classificadas como um resíduo sólido industrial, ou seja, um material que é gerado no processo de produção; de acordo com a resolução CONAMA nº 313 (SBCS, 2013):

[...] resíduo que resulte de atividades industriais e que se encontre nos estados sólido, semi-sólido, gasoso - quando contido, e líquido - cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto

ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível. [...]

As cinzas são caracterizadas como o material inorgânico presente na biomassa depois da queima. A composição varia de acordo com a sua origem, mas habitualmente apresenta os componentes Ca, Mg, Si, K, (THENGANE; GUPTA; MAHAJANI, 2019). Em função da liberação de íons no solo, as cinzas possuem pH alcalino, e estrutura complexa, apresentando partículas distintas como silicatos, cenosferas e compostos carbonosos, decorrência da combustão incompleta (CACURO; WALDMAN, 2015).

Para a biomassa com a finalidade de geração de energia, é esperado que o teor de cinzas seja baixo; desta forma há um maior aproveitamento energético, e menor geração de resíduos. De acordo com o padrão europeu de qualidade para peletes, um material considerado adequado para fins energéticos, deve apresentar teor de cinzas de no máximo 2% (ENPLUS, 2015). Tal padrão dificilmente é alcançado, uma vez que o material utilizado com maior frequência é resíduo, como por exemplo a casca de eucalipto, que apresenta valores de até 13% (HANSTED et al., 2018)

A crescente geração das cinzas é uma realidade que atualmente entra em discussão, uma vez que espera-se que a utilização de biomassa aumente nos próximos anos. Assim, são pesquisadas formas de reaproveitamento para esse material (VOSHELL; MÄKELÄ; DAHL, 2018).

Caldeiras e queimadores

De acordo com a norma regulamentadora (NR 13, 1996), caldeiras são por definição: “Caldeiras a vapor são equipamentos destinados a produzir e acumular vapor sob pressão superior à atmosférica, utilizando qualquer fonte de energia, excetuando-se os refervedores e equipamentos similares utilizados em unidades de processo.” Podem ser classificadas de uma forma geral de duas formas: flamotubular - o material que sofre a combustão circula dentro do tubo, e os tubos devem ficar imersos na água; aquatubular - funciona de maneira inversa, dentro dos tubos circula a água, e o material que sofre a combustão, em torno dos tubos.

A importância das caldeiras no setor industrial já é conhecida na maioria das áreas de produção. Na área florestal/madeireira a utilização deste equipamento é

comum e valorizada. O desempenho do setor energético de uma empresa impacta diretamente no balanço econômico e desta forma é priorizado. A eficiência térmica das caldeiras é um dos fatores que pode impulsionar a autosuficiência de empresas e resultar em ganhos significativos pela mesma, diminuindo a emissão de carbono anteriormente gerada por combustíveis fósseis e pela redução no custo de energia comprada (MARTIN, 2013).

A caldeira de biomassa é uma fonte de energia renovável que representa uma alternativa quanto ao uso de caldeiras que trabalham com combustíveis fósseis. Sippula e colaboradores (SIPPULA et al., 2019) promoveram um estudo quanto às emissões de gases em diferentes tipos de caldeira em escala comercial, com as matérias primas variando entre bio-óleo, óleo originado de combustível fóssil e madeira. Foi verificado que existiu uma diferença significativa na emissão de gases nocivos com a utilização de combustíveis fósseis. Além da emissão reduzida, sabe-se que a pegada de carbono que a biomassa, ou qualquer combustível renovável vegetal gera, é baixa em função do seu ciclo de vida (WANG et al., 2018).

Assim, é possível notar como as caldeiras de biomassa estão gradualmente crescendo e obtendo um espaço no mercado. Entretanto, esse tipo de caldeira pode apresentar algumas características indesejadas, conforme será discutido a seguir. Wang e colaboradores (WANG et al., 2018) evidenciam uma das dificuldades que ocorre ao se utilizar a biomassa no formato em que é obtida (variado). Além disso, a baixa densidade a granel e o formato variado podem também dificultar o manuseio e armazenamento. Desta forma, a possibilidade de compactação da biomassa previamente ao uso em caldeiras se torna uma alternativa com potencial. Um estudo realizado quanto à compactação de resíduos vegetais para a finalidade de utilização em caldeira, demonstrou os benefícios mecânicos e facilidades operacionais com o uso de briquetes. Foi ainda verificado como as características de combustão não foram impactadas no experimento (NAVALTA et al., 2020).

Produção de mudas de eucalipto

O Brasil é um país com expressivo plantio de florestas plantadas, superando os sete milhões de hectares em seu território. Deste total, aproximadamente cinco milhões de hectares são referentes aos plantios de eucalipto. O desenvolvimento da

espécie no país trouxe avanços no melhoramento genético, que resultou em maiores produtividades, desde o início dos plantios no Brasil em 1970 (IBA, 2019).

A produção do eucalipto pode ser originada de mudas provenientes de sementes, o que pode representar menor custo de implantação, porém ocorre maior variabilidade genética, resultando em indivíduos heterogêneos entre si. Já com a propagação vegetativa, por meio de produção clonal, é possível selecionar a procedência e fazer a escolha das características que se deseja obter (ELI et al., 2019). Desta forma, é frequente a escolha das indústrias madeireiras por mudas clonais, em função da maior previsibilidade.

O processo de produção das mudas, independente se clonal ou seminal, tem início no viveiro. Esta estrutura é responsável pelo estabelecimento inicial da muda onde há controle de luz, água e são fornecidas condições ideais para o seu desenvolvimento quanto à presença de nutrientes e adubação (TATAGIBA et al., 2015).

O plantio de eucalipto apresenta ampla tolerância quanto às características físicas e químicas do solo. Embora o eucalipto possa se desenvolver em solos diversos, comercialmente algumas práticas são estabelecidas para o melhor desenvolvimento da muda como a calagem e adubação. Tais práticas são usuais no solo do Brasil, que apresenta comumente caráter ácido. O pH deve ser corrigido quando apresentar valores inferiores à 5, no prepara do solo, ou seja, pré-plantio. Já a adubação, os nutrientes mais frequentemente utilizados são NPK (nitrogênio, fósforo e potássio), e devem ser aplicados em duas principais etapas: 1) pré-plantio ou no momento do plantio; 2) pós plantio (BELLOTE; NEVES, 2001).

Os espaçamentos de plantio em campo são escolhidos em função das necessidades de espaço das árvores para se potencializar o crescimento com qualidade, alinhado aos custos da alternativa em questão. O espaçamento mais utilizado comercialmente é definido em 3 x 2 m. A escolha pode variar de acordo com o objetivo da madeira produzida, da capacidade de crescimento do clone, ou das necessidades especiais de colheita (HIGA; MORA; HIGA, 2000).

De acordo com Oliveira Neto e colaboradores (OLIVEIRA NETO et al., 2003), a função do espaçamento maior é resultar em maior crescimento em largura (diâmetro), já os menores espaçamentos têm como objetivo uma maior produção de biomassa, em decorrência do número elevado de indivíduos. Os espaçamentos mais frequentemente encontrados em plantios variam entre: 3,0 x 0,5 m; 1,5 x 2,0 m; 3,0 x

1,5 m; 3,0 x 2,0 m; 3,0 x 3,0 m (HIGA; MORA; HIGA, 2000; MARTINS; SEIXAS; STAPE, 2009; MOULIN et al., 2017; SIMÕES et al., 1971).

Caracterização dos solos

A classificação dos solos se torna importante para a definição das quantidades necessárias para a correção do solo. Evita, desta forma, os desequilíbrios nutricionais e/ou contaminação do solo e das culturas que se deseja produzir. É possível verificar que esta análise representa um custo do processo de produção, porém é apontada como viável em função dos benefícios que pode proporcionar, inclusive evitando desperdícios de materiais corretivos (CARDOSO; FERNANDES; FERNANDES, 2009).

A porcentagem de saturação por bases no solo (V%) é um cálculo importante na análise de fertilidade do solo. O índice V% indica a proporção entre os componentes Al^{3+} , H^+ e Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ . Ou seja, quanto menor o V% do solo, há maior proporção de Al^{3+} e H^+ e menores quantidades dos cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ . Com os indicadores de menor V%, o desenvolvimento radicular pode ser prejudicado, surgindo a necessidade de correção do solo. Para considerar um solo como fértil, espera-se que a V% apresente um valor superior a 50%. Assim, os solos podem ser classificados de acordo com esse fator, da seguinte forma (SALGADO et al., 2006):

- eutróficos (V% > 50%), apresentam armazenamento de mais da metade dos cátions básicos, e são ricos em nutrientes;
- distróficos (V% < 50%), considerados pouco férteis, com alta acidez podendo conter Al^{3+} a nível de toxidez para a planta.

O processo de calagem é utilizado para a manutenção do pH do solo. Com esta correção, é possível que a cultura em questão consiga promover mais absorção dos nutrientes do solo, melhorando desta forma, o desenvolvimento e crescimento da planta. A dosagem recomendada para culturas florestais é em média $2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ por aplicação. Caso haja necessidade de aplicações extras, devem ser realizadas a partir dos 30 meses pós plantio (BRUN, 2016; SANTOS; VASCONCELLOS, 1987). Esta recomendação ocorre de acordo com as características encontradas de baixa fertilidade nos solos, desta forma, essa quantidade não é fixa e deve ser calculada de acordo com as características específicas de cada solo.

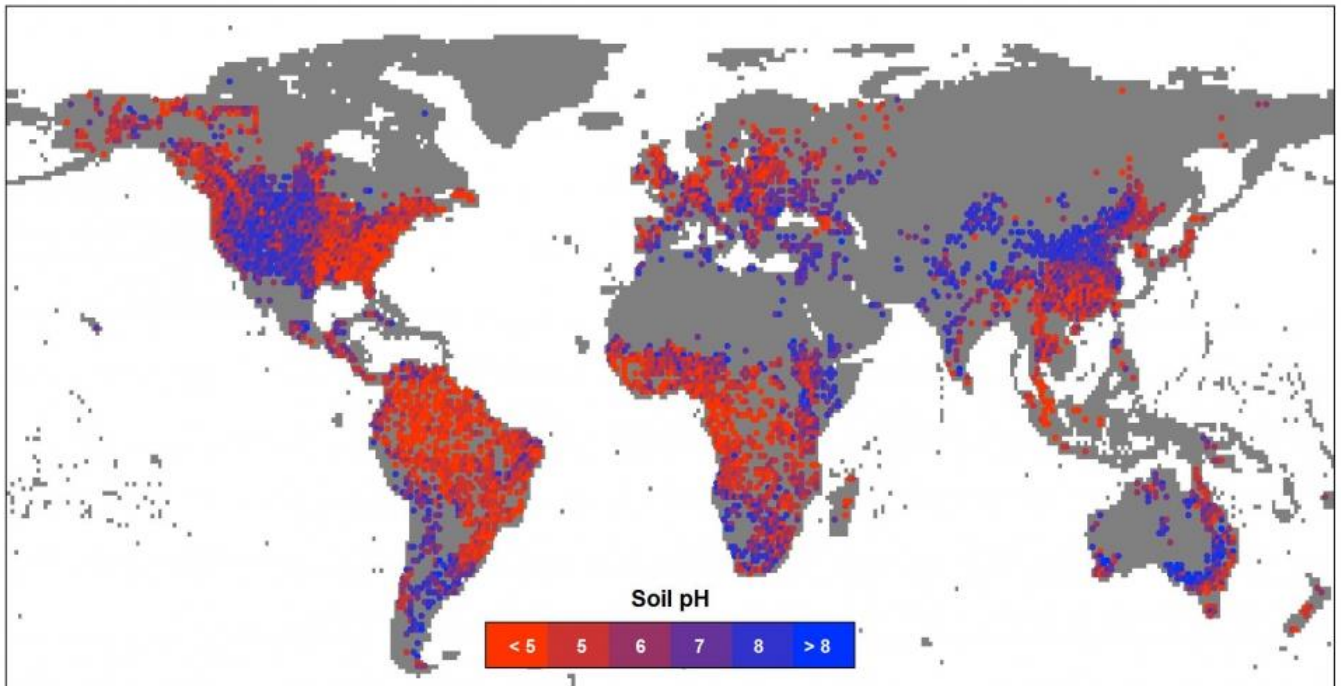
Calagem

O processo de calagem é uma prática que encarece o plantio, e assim deve ser estabelecido se há necessidade de se fazer este processo e qual a quantidade ideal, de acordo com a qualidade do solo. Indícios como erosão, lixiviação ou uso inapropriado para exploração agrícola, podem significar que o solo necessita de calagem. A principal finalidade de se promover a calagem é elevar os níveis de pH e V%, aumentando a disponibilidade de Ca e/ou Mg. Tais componentes quando em falta, são fatores limitantes para o crescimento e desenvolvimento da planta. A calagem e a adição de fertilizantes podem fazer com que áreas previamente degradadas ou inférteis sejam consideradas produtivas (GONÇALVES, 1995).

A maior parte dos solos brasileiros apresenta caráter ácido (pH < 5,5) e isso influencia negativamente a produtividade das culturas. Uma característica em comum dos solos ácidos é a presença de alumínio e manganês em níveis tóxicos, e a deficiência em elementos como cálcio, magnésio e fósforo (VELOSO et al., 1992). Quanto aos fatores que influenciam a alteração no pH do solo, os que merecem destaque são: aplicação de fertilizantes, com destaque para os adubos a base de nitrogênio; a interação complexa entre solo e cultivo pode diminuir ou aumentar o pH, dependendo das características tanto do solo quanto do cultivo; solos de cultivo florestal são naturalmente ácidos; e por fim a drenagem em excesso pela chuva pode aumentar a acidez de um solo (AARD, 2004).

É possível verificar uma tendência de acidificação do solo em algumas regiões específicas, conforme Figura 2. Evidencia-se neste mapa, a presença de solos ácidos por toda a extensão brasileira.

Figura 2 - Mapa global, com áreas de pH ácido destacadas em vermelho, e pH básico com destaque em azul.



Fonte: COHEN (2016)

O cálculo, da necessidade de calagem do solo, pode ser efetuado pela elevação do V% ou pela adição de C^{2+} e Mg^{2+} para neutralizar o Al^{3+} . As duas formas providenciam resultados com indicação em $t.ha^{-1}$ de necessidade de calcário, com PRNT (poder relativo de neutralização total) de 100%. Para estimar o pH após a aplicação do calcário, pelo método da saturação por bases; utiliza-se a relação $pH=4,288+0,03126V\%$ proposta por Catani & Gallo (1969).

Em adição aos benefícios já citados, pode-se verificar a ação da calagem no aumento da eficiência dos fertilizantes que devem ser adicionados no plantio, ou seja, quando a correção do pH do solo é realizada, a assimilação dos nutrientes é máxima, evitando um desperdício de fertilizantes. Isso ocorre em decorrência do estímulo que o cálcio proporciona no crescimento das raízes, auxiliando na melhor absorção dos nutrientes no solo (CAIRES; ROSOLEM, 1998).

Embora exista um consenso de que é possível promover o crescimento de espécies do gênero *Eucalyptus spp.* em solos de pH ácido ($pH < 6$), existem pesquisas que evidenciam que o processo de correção do pH, ou seja, a neutralização deste componente pode resultar em aumentos significativos em produção de madeira, em função da relação direta com a disponibilidade de nutrientes (ROCHA; DU TOIT; GONÇALVES, 2019).

Adubação

A adubação para plantios de eucalipto é muito variável. O procedimento mais comum é a aplicação no momento do plantio (adubação de plantio) e de uma a duas vezes nos dois primeiros anos (adubação de cobertura). Os momentos ideais de adubação não são consenso, e desta forma cada estabelecimento comercial pode realizar de forma diferente (MARTINS, 2004).

As etapas ideais para se promover a adubação podem variar, mas são fundamentais no momento em que é realizado o plantio, e até um ano corrido. A adubação pode ser dividida em adubação de base e adubações de cobertura. De forma frequente são realizadas nos meses zero, três e nove pós plantio. Posteriormente a um ano do plantio é realizada somente a manutenção (WILCKEN et al., 2008).

Para plantios de eucalipto, recomenda-se que se realize o processo de adubação com os principais nutrientes NPK. Cada um destes elementos tem sua função e momento correto para ser aplicado em maior ou menor quantidade (BRUN, 2016).

Quanto à proporção dos nutrientes em questão, primeiramente deve-se levar em consideração o que já existe no solo, por meio da avaliação da análise de micro e macronutrientes. É importante ressaltar que a adubação de base, deve apresentar maior teor de fósforo em sua composição, em função da necessidade de estabelecimento da muda, o fósforo atua no desenvolvimento das raízes. Nas adubações de cobertura que seguem, existe uma recomendação de se incrementar a quantidade de nitrogênio. O nitrogênio se destaca pela importância no desenvolvimento foliar, sendo diretamente relacionado com a presença de clorofilas (ZHAO et al., 2019). Assim, recomenda-se uma proporção de 30-40% do total de nitrogênio na primeira adubação de cobertura, e 60-70% na segunda (WILCKEN et al., 2008).

A quantidade total recomendada de nitrogênio para as espécies de eucalipto, varia de 20 a 60 kg.ha⁻¹. Este valor deve ser calculado de acordo com a quantidade de matéria orgânica (MO) presente (0 a 40 g.dm⁻³). A relação entre a quantidade necessária de nitrogênio é inversamente proporcional à matéria orgânica, conforme descrito pela literatura. A recomendação para a aplicação de fósforo pode variar de 0 a 120 kg.ha⁻¹, para o cálculo deste componente, duas variáveis devem ser

consideradas: nível de P resina; e teor de argila no solo. Para o potássio a quantidade total indicada varia de 0 a aproximadamente 65 kg.ha⁻¹, deve se levar em consideração o teor de argila e o teor de K já presentes no solo.

Inúmeros estudos comprovam como a fertilização nos variados, formatos e composição, pode aumentar a produtividade do eucalipto (CELESTRINO et al., 2019; MIRANDA et al., 2019; SOARES et al., 2019). Os nutrientes que são necessários para o crescimento da planta dependem da espécie, taxa de crescimento e da eficiência que os nutrientes são absorvidos (GONÇALVES et al., 2008).

De maneira geral, no Estado de São Paulo no Brasil, a Secretaria de Agricultura e Abastecimento recomenda que no momento do plantio, seja realizada uma adubação de base, com maior foco no elemento Fósforo, ou seja, NPK com as seguintes dosagens: 06-30-06 ou 4-30-10. Já para a adubação de manutenção ou cobertura, pode ser efetuada com maior dosagem nos elementos Nitrogênio e Potássio: 20-0-20 ou 18-06-24. As recomendações oficiais de adubações são que elas devem ocorrer no momento da instalação do plantio e em três a seis meses após (WILCKEN et al., 2008).

Biochar

Biochar, ou biocarvão, é um carvão de origem vegetal, que passou por uma pirólise com restrição total ou parcial de oxigênio. Suas funções são diversas, mas a mais conhecida é a de sequestro de carbono quando aplicado ao solo. É um material orgânico, que pode ser produzido à partir de inúmeros tipos de biomassa, como por exemplo, madeira, resíduos agrícolas, resíduos florestais ou industriais. A escolha da matéria prima para a formação do biochar deve depender da adequação deste material para o uso, conforme às características químicas, físicas, ambientais e disponibilidade (HAN et al., 2020)

O processo de fabricação e utilização do biochar envolve uma ciência e tecnologia que ainda estão em desenvolvimento, embora seja um produto antigo. Existem estudos que comprovam a utilização de um material similar pelos índios do bioma da Amazônia, alterando significativamente solos pobres para a agricultura em solos férteis. Esta mudança no padrão do solo representa uma importante descoberta para aprimoração da tecnologia de produção do biochar. Assim, o

biochar representa não só um potencial sequestrador de carbono, mas também um possível componente alterador de características do solo (LEHMANN, 2010).

Silva (2017) estudou diferentes tipos de biochar como condicionadores do solo, produzidos à partir de biomassas distintas, palha de café e casca de eucalipto, e utilizou temperaturas de 350 a 600° C para a produção. Foi verificado em seu estudo como o aumento da temperatura na pirólise, resultou em maior elevação de pH do solo, e em todas as condições, o aumento na quantidade de biochar aplicado aumentou a concentração de nutrientes no solo e CTC. Veiga (2016) estudou diferentes resíduos das mesmas fontes (casca de café e madeira de eucalipto), como potenciais reguladores de pH do solo e fornecedores de nutrientes, e chegou a conclusão que ambas as matérias-primas apresentam potencial para tal uso.

Outro material frequentemente explorado para a produção de biochar, são os elementos provenientes da cana de açúcar: bagaço e palha. Pires (2018) estudou a palha da cana, resíduo com pouca destinação atualmente, que apresenta potencial para a produção de biochar. A palha apresentou resultados satisfatórios quanto aos componentes químicos e rendimento no processo de produção. Carrier (2012) analisou biochar de bagaço de cana de açúcar em diferentes condições de pirólise e concluiu que o produto apresenta potencial para neutralização do solo, fornecimento de nutrientes e aumento de CTC.

Embora o biochar apresente frequentemente resultados positivos quanto à aplicação no solo, existem estudos que indicam a resposta contrária com a aplicação do material. Kim e colaboradores (2015) analisaram os efeitos da aplicação de biochar no solo com o objetivo de retenção de metais pesados em áreas de cultivos contaminadas. No estudo foi verificado que o biochar age positivamente quanto à retenção dos metais, porém também absorve nutrientes indispensáveis para o desenvolvimento do cultivo, como o nitrogênio. Assim, é possível que em certas condições de uso, sem tratamento especiais o biochar se torne reativo aos nutrientes e se torne um componente que compete pelos nutrientes, prejudicando o crescimento do cultivo em questão (JOSEPH et al., 2018)

CAPÍTULO 1

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS CINZAS GERADAS EM UMA CALDEIRA INDUSTRIAL ALIMENTADA POR BIOMASSA

Ana Larissa Santiago Hansted, Felipe Augusto Santiago Hansted, João Otávio Tomeleri, Carlos Roberto Sette Junior, Fábio Minoru Yamaji, Vladimir Eliodoro Costa

RESUMO: O processo de geração de energia por meio de biomassa é uma alternativa viável para o setor industrial. Existem diversos tipos de material que podem ser inseridos em caldeiras energéticas, e cada um deles apresenta características químicas e físicas distintas, resultando em diferentes comportamentos energéticos. A geração de resíduos neste sistema (cinzas) é um dos inconvenientes. Esse material, que não participa do processo de geração de energia, ainda dificulta a passagem de calor quando encrostado nas paredes estruturais das caldeiras, e pode resultar em processos corrosivos. O objetivo deste trabalho foi identificar as variações nas características físico-químicas das cinzas geradas, durante um ano, no processo de produção de energia, em uma empresa de painéis de madeira que varia a biomassa inserida na caldeira. As cinzas foram coletadas de forma aleatória na caçamba posicionada no pátio de uma empresa de painéis de madeira reconstituída, na cidade de Salto/SP. Foram realizadas seis coletas, uma a cada dois meses ao longo de um ano. Todas as amostras foram caracterizadas quanto ao teor de cinzas, à composição química dos macros e micronutrientes, à caracterização morfológica e à distribuição granulométrica. A composição química e atributos físicos foram semelhantes ao longo de todo período de análise. Como não foram detectados metais pesados em todas as análises realizadas, pode-se expandir as possibilidades de uso deste material.

Palavras-chave: energia, resíduos de biomassa, composição química.

PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERIZATION OF ASH GENERATED IN AN INDUSTRIAL BOILER FEEDED BY BIOMASS

ABSTRACT: The process of generating energy using biomass is a viable alternative for the industrial sector. There are several types of material that can be inserted in energy boilers, and each of them has different chemical and physical characteristics, resulting in different energy behaviors. The generation of waste in this system (ash) is one of the drawbacks. This material, which does not participate in the energy generation process, still hinders the passage of heat when crusted on the structural walls of the boilers, and can result in corrosive processes. The objective of this work was to identify the variations in the physical-chemical characteristics of the ashes generated, during one year, in the energy production process, in a wood panel company that varies the biomass inserted in the boiler. The ashes were collected randomly in the bucket positioned in the yard of a reconstituted wood panel company, in the city of Salto / SP. Six collections were carried out, one every two months over a year. All samples were characterized in terms of ash content, chemical composition of macros and micronutrients, morphological characterization and granulometric distribution. The chemical composition and physical attributes were similar throughout the analysis period. As heavy metals were not detected in all analyzes performed, the possibilities of using this material can be expanded.

Keywords: Energy, residues, chemical composition.

1.1 INTRODUÇÃO

A geração de energia de fontes renováveis é atualmente utilizada nas indústrias do setor florestal, como papel e celulose e painéis de madeira, uma vez que os resíduos do processo de produção podem fazer parte da geração de energia. Assim, este material renovável, considerado como 'CO₂ neutro', é uma alternativa amplamente disponível para o fornecimento de energia (MAGDZIARZ et al., 2016). Nas indústrias, estima-se que mais de 60% dos resíduos sejam destinados à queima nas caldeiras adaptadas para a inserção de biomassa. Tal prática reduz de forma significativa a utilização de combustíveis fósseis, gerando energia para as indústrias na forma de vapor, ar quente ou eletricidade, por meio de cogeração (IBÁ, 2017).

As biomassas de origem vegetal que podem ser utilizadas para a geração de energia podem ser classificadas resumidamente nas seguintes categorias: biomassas lenhosas, biomassas herbáceas, biomassas aquáticas e resíduos. Estes últimos podem variar entre pó de serra, pó de lixa, casca ou qualquer outro tipo de material vegetal que não seja aproveitado no processo produtivo. Cada uma dessas categorias apresenta características físico-químicas distintas, o que pode resultar em comportamentos térmicos diferentes. A utilização de mais de uma categoria ao mesmo tempo ocorre frequentemente, o que dificulta a previsibilidade do processo (MADANAYAKE et al., 2017).

No processo de queima da biomassa de origem vegetal nas caldeiras, ocorre a combustão direta do material, que alcança temperaturas de aproximadamente 900 °C. Idealmente, todo o material inserido deve ser transformado em energia. Em função das condições iniciais dos resíduos serem, em sua maioria, sem controle de umidade ou impurezas, o rendimento energético pode não alcançar todo o seu potencial. Outra dificuldade que pode ser encontrada neste sistema é a geração de cinzas (resíduos), material mineral que não faz parte da queima e se acumula nas caldeiras (HANSTED et al., 2018).

O acúmulo de cinzas na estrutura interna da caldeira pode ser prejudicial, pois leva ao espessamento da parede das caldeiras e conseqüentemente resulta em perda da eficiência energética. Desta forma, procura-se diminuir as impurezas presentes na biomassa antes de inseri-la na caldeira. Esta 'limpeza' pode ser realizada pela separação da terra de forma mecânica, por estratos granulométricos (GARCÍA et al., 2014; HANSTED et al., 2018).

Mesmo que a biomassa passe por qualquer processo de limpeza para redução no teor de cinzas, ainda há minerais em sua composição. Desta forma, uma porcentagem de cinzas deve permanecer nas caldeiras (PAPER et al., 2015). A composição elementar das cinzas não é constante e depende da origem e procedência da biomassa. Os componentes já identificados nas cinzas são: Si, Ca, Mg, Al, Pb, Cu, S, Mn, Fe, entre outros. A identificação e quantificação dos componentes relacionada à origem da biomassa é de fundamental importância para se definir a destinação final destas cinzas classificadas como resíduos (ARRUDA et al., 2016).

Neste sentido, já existem algumas aplicações das cinzas de caldeiras como na composição da produção de cimentos, em função de suas propriedades inertes. Também podem ser utilizadas na correção da acidez do solo, pois de uma maneira geral conta com um pH básico, e como fertilizante agrícola, conforme a presença de micro e macronutrientes (CACURO; WALDMAN, 2015; OSAKI; DAROLT, 1991; SIMIONI ET AL., 2018).

Uma das inconveniências de se utilizar este material no solo pode ser verificada em função da presença de metais pesados. A detecção da presença e da quantidade destes componentes podem inviabilizar algumas utilizações, pois podem implicar em inalação e assim gerar riscos à saúde (MAEDA et al., 2007; RISK, 2019). De acordo com a resolução do Ministério do Meio Ambiente no Brasil CONAMA Nº 420/2009 (BRASIL, 2009), os metais que podem representar riscos quando encontrados no solo são: Sb, As, Ba, Pb, Cu, Co, Cd, Ag, Ni, Mo, Hg, Se e Zn. Estes elementos, quando identificados, devem ser quantificados para a verificação do risco que representam, ou seja, se estão dentro dos limites aceitáveis. Caso o valor exceda o esperado, o solo deve passar por investigação (LANZERSTORFER, 2016).

O objetivo deste estudo foi identificar as oscilações nas características físico-químicas das cinzas geradas, durante um ano, no processo de produção de energia, em uma empresa de painéis de madeira.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1 COLETA DAS CINZAS

As cinzas foram geradas a partir de caldeiras que utilizam exclusivamente biomassa para a geração de energia térmica. As coletas ocorreram de forma aleatória na caçamba posicionada no pátio de uma empresa de painéis de madeira reconstituída, na cidade de Salto-SP, Brasil. As biomassas variam ao longo do ano conforme a disponibilidade, podendo haver: casca de eucalipto; pó de serra; pó de lixa; cavaco de eucalipto; e resíduos lignocelulósicos de construção civil.

A geração deste resíduo ocorre com o funcionamento de três caldeiras de biomassa, que juntas somam 630 toneladas de cinzas por mês. Para este experimento, uma das caldeiras foi escolhida em função do maior rendimento de resíduo produzido (300 toneladas/mês). A empresa em questão consome 780 mil m³ de madeira por ano.

As coletas ocorreram durante o período de um ano, de forma que as oscilações em função da disponibilidade do material inserido na caldeira pudessem ser avaliadas nas características das cinzas. Com a frequência de coleta bimestral, foram coletadas seis amostras no total, classificadas como: C1 (maio/2018); C2 (julho/2018); C3 (setembro/2018); C4 (novembro/2018); C5 (janeiro/2019); e C6 (março/2019).

1.2.2 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

Para a avaliação da análise imediata do material, foi calculado o teor de cinzas, em função do resíduo da caldeira, apesar de atingir uma temperatura de 900 °C para geração de energia, apresentar visivelmente partículas semelhantes ao carvão, ou seja, que não foram completamente carbonizadas.

Para o teor de cinzas, foi utilizada a adaptação da norma ASTM - American Society for Testing and Materials, D1102-84. O material com teor de umidade 0% foi inserido na mufla com temperatura de 600 °C por um período de seis horas. Posteriormente, o material foi pesado e foi calculado o teor de cinzas.

A análise dos componentes químicos das cinzas foi realizada no Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Universidade Estadual Paulista, câmpus de Botucatu. Os componentes previamente estabelecidos para esta análise foram: Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio, Enxofre, Sódio, Boro, Cobre, Ferro, Manganês, Zinco, Carbono total (BRASIL, 2014b), e pH em base CaCl₂, conforme a norma D4972-18 (ASTM). A avaliação dos componentes foi realizada em todas as amostras coletadas durante o ano.

Em adição a esta análise, as amostras foram submetidas ao MEV (microscópio eletrônico de varredura) acoplado ao EDS (espectroscopia por energia dispersiva) para a verificação de componentes que não estavam previstos na análise anterior, como Chumbo, Cromo, Arsênio, Níquel, elementos que podem inviabilizar a utilização das cinzas pelo risco de contaminação dos solos (MAEDA et al., 2007).

As cinzas foram avaliadas de acordo com a distribuição granulométrica. O material passou por separação granulométrica com o auxílio de um agitador de partículas e de peneiras com aberturas de 12,7 mm, 2 mm, 0,84 mm e 0,42 mm.

1.2.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Foi realizada a análise de variância para os componentes obtidos em três repetições. Posteriormente, foi verificado pelo teste Tukey, quais médias diferiram entre si.

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise do teor de cinzas resultou em dados relativamente homogêneos. De acordo com a análise estatística de Tukey, foi possível verificar diferença estatística significativa entre as amostras C3 e C4, com um nível de 5% de significância (Tabela 1). A variação no teor de material não queimado dentro da caldeira pode ocorrer em função de fatores operacionais ou é proveniente das condições do material inserido para a queima. Quanto à questão operacional, foi averiguado que o material não permanece o tempo máximo dentro da caldeira, em decorrência da queda no fornecimento de calor. Isto ocorre pela redução na taxa de produção energética, e assim é necessário inserir mais material na caldeira, impedindo a queima total da biomassa inicialmente inserida. Já em relação às condições iniciais do material, foi constatado que a biomassa é inserida úmida, e com significativa presença de impurezas (HANSTED et al., 2018).

Tabela 1 - Componentes químicos nas amostras de cinzas provenientes da caldeira

Componentes/ Amostras	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Teor de cinzas (%)	97,93 ab	95,37 ab	94,87 b	98,46 a	97,26 ab	96,09 ab
N	0,06	0,1	0,1	0,59	0,32	0,1

P ₂ O ₅	0,42	0,52	0,35	0,56	0,51	0,27
K ₂ O	1,06	1,11	1,08	0,93	1,02	0,65
Ca	4,9	4,05	4,72	4,28	4,25	3,62
Mg	0,86	1,07	0,93	1,02	1	0,74
S	0,13	0,23	0,11	0,23	0,21	0,06
TCO	2	1	1	1	1	1
Na	3900	4220	3218	3600	3750	4199
Cu	66	82	70	72	70	120
Fe	(mg.kg ⁻¹) 10750	15500	11445	18900	13550	13492
Mn	1444	1656	1351	916	1100	757
Zn	202	358	96	166	105	195
pH	12,4	12,5	12	12,3	12	12,2

TOC: teor de carbono orgânico. Obs.: As médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si estatisticamente, a um nível de 5% de significância.

Quando o material é inserido úmido para a queima, existem diversos fatores que podem prejudicar a produção de calor. A necessidade de secagem da biomassa diminui o rendimento energético pela perda de calor neste processo. O material úmido pode ainda gerar estágios de combustão sobrepostos, o que implica em combustão lenta com maior liberação de gases poluentes (PRICE-ALLISON et al., 2019). A umidade também aumenta o teor de impurezas aderido à biomassa, diminuindo percentualmente, desta forma, o material orgânico que deve participar da queima (HANSTED et al., 2016).

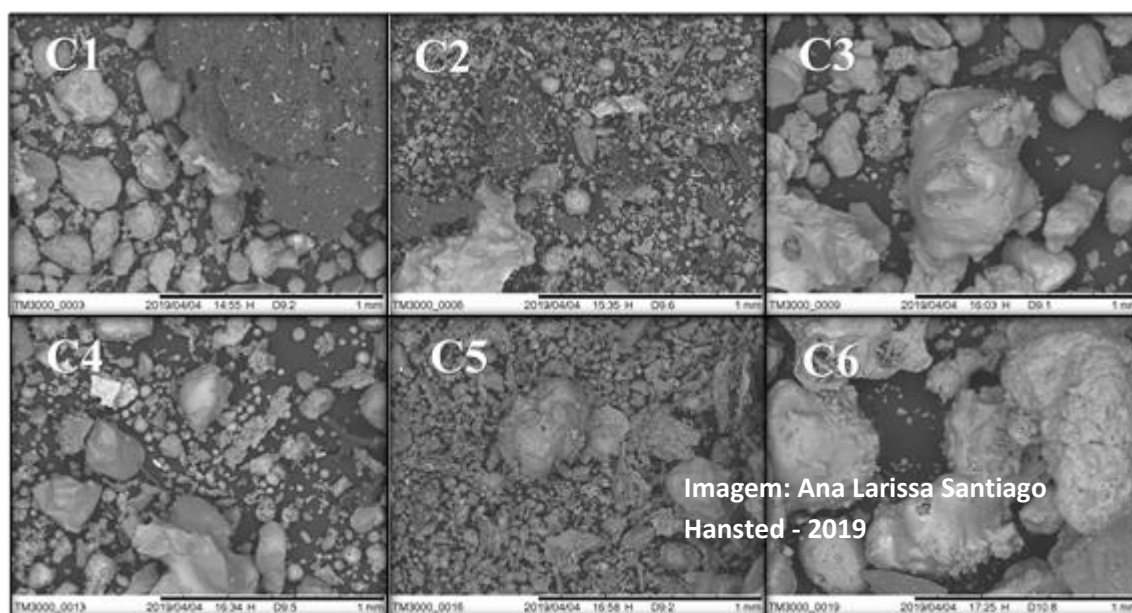
A análise dos componentes químicos das cinzas permitiu a verificação de metais e óxidos já descritos na literatura. Os álcalis cáusticos e os óxidos com Ca, Mg, K, P apresentam relação direta com o aumento no pH (WONS et al., 2018). Desta forma, o material com os componentes citados apresenta potencial para diversas utilizações que se deseja alterar características causadas pelo pH baixo, como em ações melhorativas de solos ácidos (SHI et al., 2016). A presença dos componentes permite o cálculo para o ajuste conforme a necessidade do solo em questão.

Outro fator importante de se avaliar as cinzas quimicamente é a relação entre os componentes e as características de fusão e derretimento. Desta forma, é possível prever de que forma as incrustações e corrosões na caldeira irão ocorrer. Alguns elementos já foram identificados como problemáticos neste aspecto, como é

o caso de metais alcalinos (e.g. Na, K). A presença deles pode resultar em significantes corrosões em temperaturas baixas de combustão, a partir de 500-550°C (NUNES; MATIAS; CATALÃO, 2016). Estes componentes representam as temperaturas mais baixas de ponto de fusão, e podem resultar em processos de deposições na caldeira, prejudicando o desempenho energético (MAGDZIARZ et al., 2018).

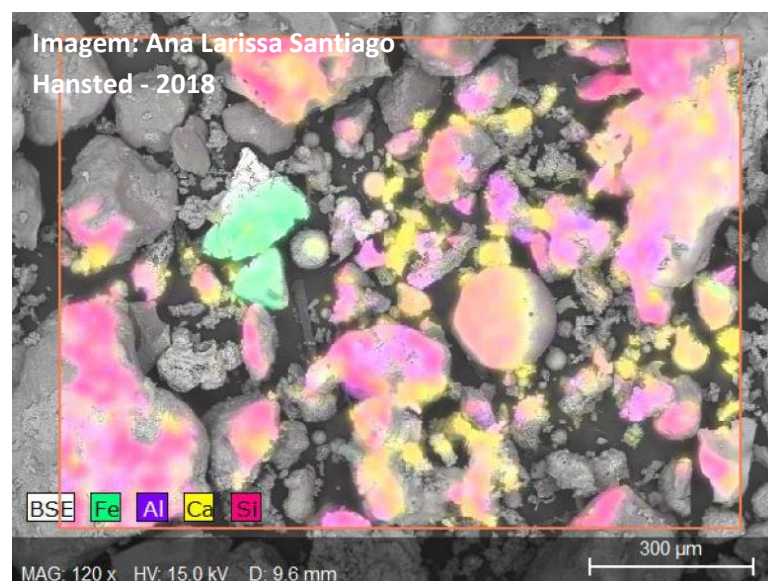
Os resultados obtidos no MEV e na EDS podem ser considerados complementares às análises dos componentes químicos. Nas figuras 1 e 2 é possível visualizar as imagens obtidas com um aumento de 100x e 120x, respectivamente.

Figura 1 - Imagens das estruturas das seis amostras de cinzas da caldeira obtidas a partir do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) com aumento de 100x



A análise realizada no MEV permitiu a visualização das estruturas heterogêneas das amostras de cinzas. Foi possível verificar os formatos distintos dos componentes. As estruturas encontradas no material foram analisadas no EDS e os resultados foram consistentes e complementares com a análise química. Foram identificados: Ferro, Cálcio, Silício e Alumínio nas amostras, conforme a Figura 2 (amostra representativa de todas as cinzas, conforme os elementos encontrados). Não foi identificado qualquer tipo de metal pesado nas cinzas.

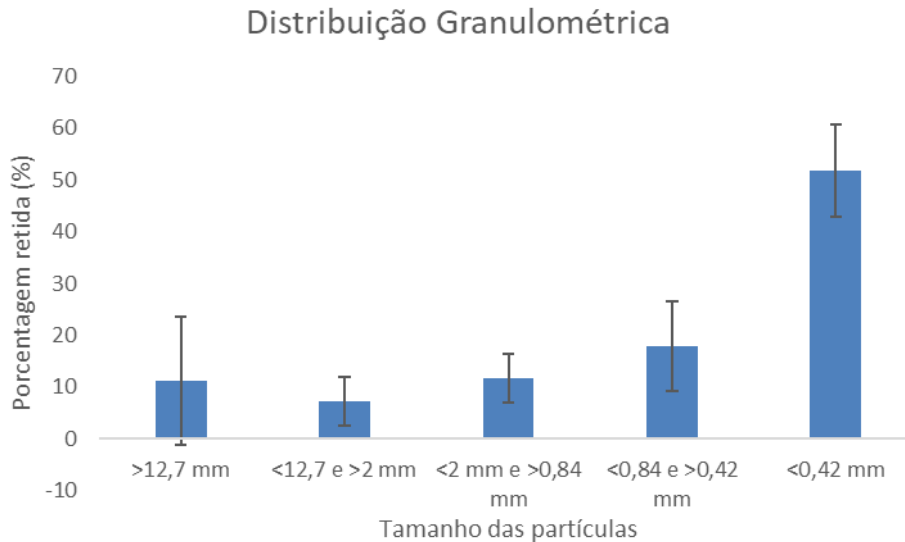
Figura 2 - Imagens das partículas das estruturas das amostras de cinzas da caldeira obtidas a partir da Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS) com aumento de 120x e identificação dos componentes Ferro, Alumínio, Cálcio e Silício



A distribuição granulométrica média (Figura 3) evidenciou um padrão de distribuição das partículas. As médias apresentaram valores similares entre si. O processo de queima influenciou no tamanho das partículas geradas. Como todas as amostras são resíduos da mesma caldeira (mesma temperatura e tempo de queima), era esperado que não houvessem comportamentos distintos neste aspecto (UMAMAHESWARAN; BATRA, 2008). A granulometria é um importante indicador dependendo da utilização final do material. Quando se analisa o solo, por exemplo, é necessário avaliar este aspecto que influencia no fluxo superficial e na passagem de água para as camadas interiores do solo. De acordo com a classificação atual, a textura do solo deve ser a proporção relativa das classes de tamanho: areia - 0,05 a 2 mm; silte – 0,002 a 0,05 mm e argila – < 0,002 mm (EMBRAPA, 1979). Quanto menor o tamanho das partículas, maior a retenção de água no solo. As cinzas foram classificadas com as peneiras de 12,7 mm, 2 mm, 0,84 mm e 0,4 mm em função do

tamanho das partículas. Baseado nestas características, foi possível verificar que as cinzas permitem a drenagem de água.

Figura 3 - Distribuição granulométrica média das seis amostras de cinzas da caldeira. O desvio padrão está representado pelas barras



Na Figura 4 é possível visualizar as imagens do material após a separação mecânica em diferentes tamanhos de partículas.

Figura 4 - Imagem das amostras após a distribuição granulométrica nas peneiras: (1) >12,7mm; (2) >12,7 mm e < 2mm; (3) < 2mm e > 0,84mm; (4) < 0,84mm e > 0,42 mm; (5) < 0,42 mm. Sendo, A: C1, B: C2, C: C3, D: C4, E: C5, F: C6. As setas indicam as porções com presença de material incompletamente carbonizados.



A Figura 4 permite uma análise detalhada do material. Em alguns estratos granulométricos (A3, A4, B3, F3) é possível visualizar a biomassa que não foi completamente carbonizada (partículas mais escuras, semelhantes ao carvão, indicadas por setas). Tais componentes são explicados pelos teores abaixo de 100% de cinzas (Tabela 1) e pelos teores de TOC (Tabela 2). Nos estratos de maiores tamanhos de partículas (D1 e E1) estão expostos segmentos de metais, que explicam a presença de ferro e alumínio em abundância, conforme apontado por análise química do EDS (Figura 2).

Uma maneira de evitar o uso de cinzas feitas de partículas de tamanhos diferentes é agregar o material. A preparação de grânulos ou pellets pode ajudar na previsibilidade dos efeitos. Embora essa alternativa pareça ser uma opção promissora, o custo de fabricação e a disponibilidade de máquinas são fatores limitantes (KARLTUN et al., 2008). É possível verificar um melhor uso desse resíduo nos países desenvolvidos devido ao acesso a tecnologias e incentivos à pesquisa (HALL, 1997; INDIRAMMA et al., 2019).

1.4 CONCLUSÕES

Embora a empresa apresente variações na origem e procedência da biomassa que é inserida na caldeira ao longo de um ano, as cinzas apresentaram características físico-químicas semelhantes no mesmo período. A análise granulométrica das cinzas mostrou a possibilidade de seu uso no solo. É importante ressaltar também a ausência de metais pesados em todas as análises realizadas, fator que pode expandir as possibilidades de uso deste material.

REFERÊNCIAS

BRASIL. **Resolução no 420, de 28 de dezembro de 2009**. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.

BRASIL. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Secretaria de Defesa Agropecuária. Coordenação-Geral de Apoio Laboratorial; Murilo Carlos Muniz Veras (Org.) – Brasília : MAPA/ SDA/CGAL, 2014. 220 p.

CACURO, T. A.; WALDMAN, W. R. Fly-Ash from Biomass Burning: Applications and Potentialities. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 6, p. 2154–2165, 2015.

DE ARRUDA, J. A. et al. Uso da cinza de biomassa na agricultura: efeitos sobre atributos do solo e resposta das culturas. **Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, v. 1, n. 30, p. 18, 29 set. 2016.

EMBRAPA. **Serviço Nacional de Levantamento e conservação de solos**. 1979. Disponível em: <
[https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=pc&biblioteca=vazio&busca=autoria:%22EMBRAPA.%20Servico%20Nacional%20de%20Levantamento%20e%20Conservacao%20de%20Solos%20\(Rio%20de%20Janeiro,%20RJ\).%22](https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=pc&biblioteca=vazio&busca=autoria:%22EMBRAPA.%20Servico%20Nacional%20de%20Levantamento%20e%20Conservacao%20de%20Solos%20(Rio%20de%20Janeiro,%20RJ).%22) >. Acesso em janeiro de 2018.

GARCÍA, R. et al. Spanish biofuels heating value estimation. Part II: Proximate analysis data. **Fuel**, v. 117, p. 1139–1147, jan. 2014.

HALL, D. O. Biomass energy in industrialised countries—a view of the future. **Forest Ecology and Management**, v. 91, n. 1, p. 17–45, mar. 1997.

HANSTED, A. L. S. et al. Use of a lignocellulosic residue as solid fuel: The effect of ash content in the energy potential. **Industrial Crops and Products**, v. 116, n. July 2017, p. 209–214, jun. 2018.

IBÁ INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. Relatório 2017. **Report**, p. 80, 2017.

INDIRAMMA, P.; SUDHARANI, C.; NEEDHIDASAN, S. Utilization of fly ash and lime to stabilize the expansive soil and to sustain pollution free environment – An experimental study. **Materials Today: Proceedings**, v. 22, n. xxxx, p. 694–700, out. 2020.

KARLTUN, E. et al. WOOD ASH RECYCLING – POSSIBILITIES. In: RÖSER, D. et

al. (Eds.). . **Sustainable Use For Biomass Energy**. p. 79–108. 2008.

KICIŃSKA, A. Chemical and mineral composition of fly ashes from home furnaces, and health and environmental risk related to their presence in the environment. **Chemosphere**, v. 215, p. 574–585, jan. 2019.

LANZERSTORFER, C. Chemical composition and properties of ashes from combustion plants using *Miscanthus* as fuel. **Journal of Environmental Sciences**, v. 54, p. 178–183, abr. 2017.

MADANAYAKE, B. N. et al. Biomass as an energy source in coal co-firing and its feasibility enhancement via pre-treatment techniques. **Fuel Processing Technology**, v. 159, p. 287–305, maio 2017.

MAEDA, S.; SILVA, H. D.; MAGALHÃES, W. L. E. **Aplicação de Cinza de Biomassa Florestal para Plantio de *Pinus taeda* em Latossolo e Cambissolo de Piraí do Sul, PR**. 2007. 95 p. Dissertação. Colombo (PR) - Brasil.

MAGDZIARZ, A. et al. Mineral phase transformation of biomass ashes – Experimental and thermochemical calculations. **Renewable Energy**, v. 128, p. 446–459, dez. 2018.

MAGDZIARZ, A.; DALAI, A. K.; KOZIŃSKI, J. A. Chemical composition, character and reactivity of renewable fuel ashes. **Fuel**, v. 176, p. 135–145, jul. 2016.

NUNES, L. J. R.; MATIAS, J. C. O.; CATALÃO, J. P. S. Biomass combustion systems: A review on the physical and chemical properties of the ashes. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 53, p. 235–242, jan. 2016.

OSAKI, F.; DAROLT, M. R. Estudo da qualidade de cinzas vegetais para uso como adubos na região metropolitana de Curitiba. **Revista Setor Ciências Agrárias**, v. 11, n. 1, p. 197-205, 1991.

PRICE-ALLISON, A. et al. Emissions performance of high moisture wood fuels burned in a residential stove. **Fuel**, v. 239, p. 1038–1045, mar. 2019.

HANSTED, A. L. et al. Physico-Chemical Characterization of *Leucaena leucocephala* Biomass for Solid-Fuel Production. **Revista Virtual de Química**, v. 8, n. 5, p. 1449–1460, 2016.

SHI, R. et al. ScienceDirect Characteristics of biomass ashes from different materials and their ameliorative effects on acid soils. **Journal of Environmental Sciences**, v. 55, p. 294–302, 2016.

SIMIONI, F. J. et al. Cadeia produtiva de energia de biomassa florestal: o caso da lenha de eucalipto no polo produtivo de Itapeva - Sp. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 310, 2 abr. 2018.

UMAMAHESWARAN, K.; BATRA, V. S. Physico-chemical characterisation of Indian

biomass ashes. **Fuel**, v. 87, n. 6, p. 628–638, 2008.

WONS, W. et al. Effect of thermal processing on the structural characteristics of fly ashes. **Journal of Molecular Structure**, v. 1165, p. 299–304, ago. 2018.

CAPÍTULO 2

UTILIZAÇÃO DE CINZAS DE CALDEIRAS E BIOCHAR À BASE DE MADEIRA NO SOLO PARA O DESENVOLVIMENTO DO TRIGO

Ana Larissa Santiago Hansted, Susan Baldwin, Naoko Ellis, Suelen Satyro, Fábio Minoru Yamaji, Vladimir Eliodoro Costa

RESUMO: A maioria das culturas exige solo neutro para aumentar o rendimento. Dessa maneira, o processo de calagem se torna necessário. O uso de cinzas é uma solução alternativa para correção da acidez do solo, pois o pH das cinzas é comumente básico ($\text{pH} > 7$). A utilização do biochar no solo também tem sido cada vez mais explorada, em função de inúmeros benefícios que pode trazer. O biochar é um material produzido a partir da pirólise da biomassa, que conta com a presença de carbono, nitrogênio, hidrogênio, potássio e magnésio em sua composição elementar. O objetivo deste estudo foi avaliar o potencial de calagem de diferentes tipos de cinzas e o benefício da adição de biochar nas cinzas, a fim de modificar as taxas de germinação e o crescimento inicial do trigo. Foram utilizadas quatro cinzas distintas para o experimento, três de origem canadense e uma brasileira. O biochar empregado foi obtido de uma empresa canadense, formado por uma mistura de madeiras das espécies Douglas-fir, Hemlock e Western Red Cedar. Os cinco tratamentos foram ajustados em triplicatas, totalizando 15 amostras por material. As porcentagens de adição das cinzas e/ou biochar foram ajustadas da seguinte forma: T1 (100% solo); T2 (97,5% solo e 2,5% cinzas e/ou biochar); T3 (90% solo e 10% cinzas e/ou biochar); T4 (75% solo e 25% cinzas e/ou biochar); T5 (50% solo e 50% cinzas e/ou biochar). Foi realizada a análise do pH do solo antes e depois da implantação dos tratamentos. As plântulas com comprimento maior que 2mm foram consideradas como germinadas. Foram avaliados o crescimento inicial da parte aérea e o peso da massa seca. Verificou-se que as cinzas e o biochar apresentaram impacto na germinação do trigo e no desenvolvimento inicial. A adição das cinzas em doses mais baixas possibilitou às plantas melhorar seu crescimento e germinação. A presença de biochar diminuiu as porcentagens de germinação e comprimento e, conseqüentemente, o peso seco das brotações.

Palavras-chave: Solo, germinação, crescimento inicial.

USE OF BOILER ASHES AND WOOD-BASED BIOCHAR IN THE GROUND FOR WHEAT DEVELOPMENT

ABSTRACT: Most crops require neutral soil to increase yield. In this way, the liming process becomes necessary. The use of ash is an alternative solution to correct soil acidity, as the pH of the ash is commonly basic ($\text{pH} > 7$). The use of biochar in the soil has also been increasingly explored, due to the numerous benefits it can bring. Biochar is a material produced from the biomass pyrolysis, which has the presence of carbon, nitrogen, hydrogen, potassium and magnesium in its elemental composition. The objective of this study was to evaluate the liming potential of different types of ash and the benefit of adding biochar to the ash, in order to modify the germination rates and the initial growth of the wheat. Four different ashes were used for the experiment, three of Canadian origin and one Brazilian. The biochar used was obtained from a Canadian company, formed by a mixture of Douglas-fir, Hemlock and Western Red Cedar woods. The five treatments were adjusted in triplicates, totaling 15 samples per material. The percentages of addition of ash and / or biochar were adjusted as follows: T1 (100% soil); T2 (97.5% soil and 2.5% ash and / or biochar); T3 (90% soil and 10% ash and / or biochar); T4 (75% soil and 25% ash and / or biochar); T5 (50% soil and 50% ash and / or biochar). Soil pH analysis was performed before and after the treatments were implemented. Seedlings longer than 2mm were considered to be germinated. Initial shoot growth and dry weight were evaluated. Ashes and biochar were found to have an impact on wheat germination and early development. The addition of ash in lower doses allowed plants to improve their growth and germination. The presence of biochar decreased the germination and length percentages and, consequently, the dry weight of the shoots.

Keywords: Soil, germination, early growth.

2.1 INTRODUÇÃO

O trigo é uma das principais culturas desenvolvidas no Canadá, e existe uma expectativa que no ano de 2020 essa produção aumente em 11% em relação a 2018. O trigo é um produto de exportação que possui uma importância significativa na Divisão de Cultivos e Horticultura do Canadá, de acordo com a perspectiva oficial para as principais culturas de campo em 2019 (DURAND, 2020). Para produzir trigo, existem várias práticas de manejo que visam o aumento do incremento, sendo uma delas a neutralização do solo (CORRÊA et al., 2017).

Solos ácidos ($\text{pH} < 6$) podem ser um problema para o desenvolvimento da maioria das culturas, incluindo o trigo. A maioria das culturas exige um solo com pH neutro para aumentar sua produção. Dessa forma, o processo de calagem se torna necessário. No oeste do Canadá, há uma grande quantidade de solo nessa condição, visto que cerca de 2 milhões de hectares são originalmente ácidos (AARD, 2004). A indicação para o cultivo de trigo é em solos próximos ao neutro; portanto, é indicado o processo de calagem para a correção do pH (BELLOTE; NEVES, 2001).

A calagem é o processo de adição de cálcio e magnésio ao solo. Este procedimento é recomendado para minimizar a acidez do solo e fornecer os nutrientes mencionados em quantidades ideais para o desenvolvimento da colheita (COSTA, 2012). A quantidade adicionada depende da concentração encontrada no solo e das necessidades específicas de cada cultura. Além disso, também pode auxiliar na redução de componentes tóxicos para plantas como o Al^{3+} (VIEIRA FONTOURA et al., 2019).

O uso de cinzas é uma solução alternativa na correção da acidez do solo, pois o pH das cinzas é comumente básico ($\text{pH} > 7$). Além de neutralizar os solos quando necessário, também fornecem nutrientes que se tornam disponíveis em solos neutros. As cinzas, principalmente à base de madeira, também apresentam em sua composição alguns dos componentes químicos essenciais para o desenvolvimento das culturas, como cálcio e magnésio, entre outros (MARESCA et al., 2019).

A utilização do biochar no solo tem sido cada vez mais explorada, em função dos inúmeros benefícios que pode trazer. O biochar é um material produzido a partir da pirólise da biomassa, que conta com a presença de carbono, nitrogênio, hidrogênio, potássio e magnésio em sua composição química. Apesar de sua

composição apresentar elementos importantes para conferir maior fertilidade no solo, o biochar pode influenciar de forma positiva ou negativa o crescimento das plantas. As limitações podem surgir de acordo com as necessidades do solo e/ou cultivo (KAVITHA et al., 2018).

O objetivo deste estudo foi avaliar o potencial de calagem de diferentes tipos de cinzas e o benefício da adição de biochar nas cinzas, a fim de modificar as taxas de germinação e o crescimento inicial do trigo.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 CINZAS

As cinzas utilizadas são resíduos do processo de geração de energia em caldeiras de biomassa. Tem origens distintas em relação à posição dentro da caldeira (fundo, multiciclone ou precipitador, Tabela 1) e à procedência geográfica, porém, todos são resíduos gerados em empresas do setor florestal (papel e celulose, indústrias de painéis de madeira).

Tabela 1 - Cinzas geradas em diferentes empresas e com origens distintas

Amostra	Procedência	Posição de coleta na caldeira
Cinza 1	Brasil	Fundo
Cinza 2	Canadá	Fundo
Cinza 3	Canadá	Multiclone
Cinza 4	Canadá	Precipitador

Os quatro tipos de cinzas estudados passaram por uma separação granulométrica mecânica (< 1,7 mm), com a finalidade de remover pedras e pedaços maiores de amostra.

2.2.2 BIOCHAR

O biochar utilizado foi fornecido por uma empresa localizada na província de British Columbia, Canadá. A biomassa utilizada na composição do biochar foi a mistura de aparas das madeiras de Douglas-fir, Hemlock e Western Red Cedar. O biochar foi produzido por pirólise de biomassa a 550°C. Para a aplicação, os cavacos tiveram que ser moídos e peneirados (< 1,7 mm).

2.2.3 SOLO

As amostras de solo não fertilizado foram coletadas no Centro de Sistema Alimentar Sustentável, localizado em 'The University of British Columbia'. As amostras foram secas a uma temperatura de 80°C. As rochas e as partículas maiores que 1,7 mm foram removidas por peneiração.

2.2.4 ANÁLISE DO pH

O pH das amostras foi verificado de acordo com a norma D4972-18 (adaptado) (ASTM, 2018). As proporções em gramas (g) de amostra por mililitro (ml) de solução (água desionizada + CaCl₂) tiveram que ser ajustadas devido às diferentes características de absorção de cada material, sendo: solo 1:1; cinza 1:5; biochar 1:10; solo + cinzas/biochar 1:10. A análise do pH foi realizada para as amostras separadamente (cinza, solo e biochar) antes dos tratamentos, e somente para o solo após a adição das cinzas e/ou biochar.

2.2.5 ANÁLISE DOS COMPONENTES QUÍMICOS

Foi realizada a análise dos componentes químicos totais das amostras de cinzas e biochar. Os componentes foram avaliados por espectrofotômetro de absorção atômica - Perkin Elmer, modelo 2380.

2.2.6 SEMENTES DE TRIGO

As sementes de trigo usadas neste experimento foram da variedade 'trigo de inverno', marca West Coast Seeds.

Para iniciar o processo de germinação, as sementes foram embebidas em água por um período de 12h, antes do plantio, com a finalidade de se maximizar a taxa de germinação (AHMAD, SHAHBAZ; ANWAR, MUHAMMAD; ULJAH, 1998).

2.2.7 TRATAMENTOS ESTABELECIDOS

Os cinco tratamentos foram ajustados com três repetições, totalizando 15 amostras por adição. As porcentagens de adição (cinzas/biochar) podem ser visualizadas em Tabela 2.

Tabela 2 - Tratamentos estabelecidos quanto à adição de cinzas e biochar

Adições Tratamentos	-Cinzas (1,2,3,4) -Biochar -Cinzas (1,2,3,4) e biochar
T1	100% solo
T2	97,5% solo + 2,5% material

T3	90% solo + 10% material
T4	75% solo + 25% material
T5	50% solo + 50% material

O teste de germinação foi realizado em um Gabinete de Temperatura e Umidade - LHU 113. As placas de Petri foram preenchidas com 15 g de substrato nos tratamentos estabelecidos. Em cada placa, 10 sementes foram semeadas. As placas de Petri foram mantidas aleatoriamente dentro do gabinete por seis dias, a uma temperatura constante de 25°C e 100% de umidade relativa, condição ideal para a germinação e o desenvolvimento do trigo (MOHAMED et al., 2017).

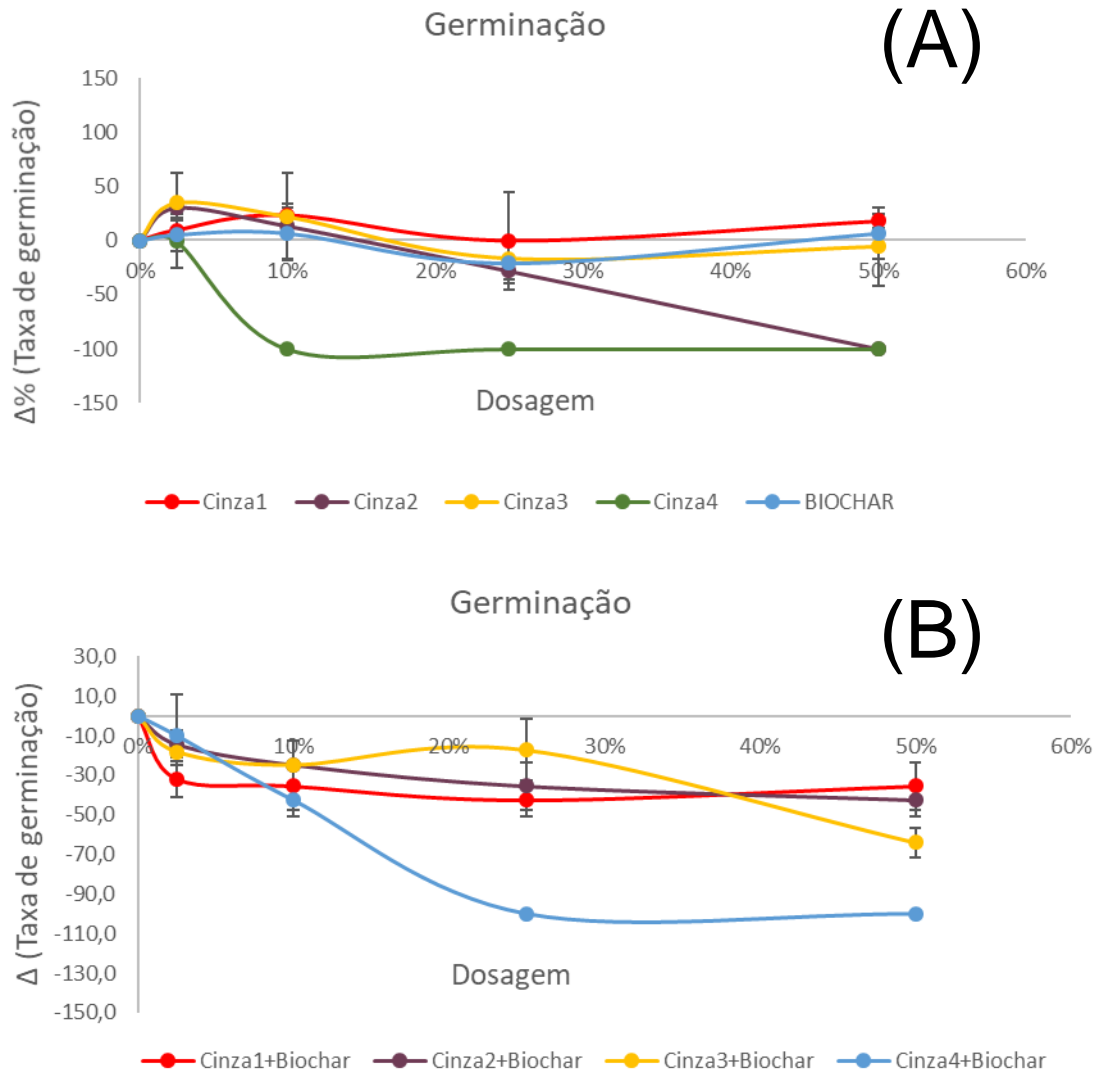
Após esse período, todas as plântulas com comprimento maior que 2 mm foram consideradas como germinadas. Para a análise do crescimento, cada broto teve seu comprimento medido. Para a mensuração da quantidade de biomassa produzida, as brotações foram secas a 65°C e o peso seco foi registrado (MARCANTE et al., 2010).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Germinação das sementes do trigo

A germinação das sementes de trigo foi afetada pela presença das cinzas e do biochar (Figuras 1A e 1B). Foi possível verificar que nos tratamentos com a adição separada dos materiais (Figura 1A), as sementes germinadas (Δ) apresentaram taxas positivas em todas as porcentagens avaliadas para as adições: Cinza 1, Cinza 3 e Biochar, com exceção dos tratamentos Cinza 2 e Cinza 4, que prejudicaram o processo de germinação quando em grandes quantidades (> 10%). Quando avaliados os materiais combinados (Figura 1B), ficou evidente que todas as misturas prejudicaram a germinação das sementes do trigo. A taxa relativa de germinação foi calculada em função da razão percentual com o grupo controle (7 sementes).

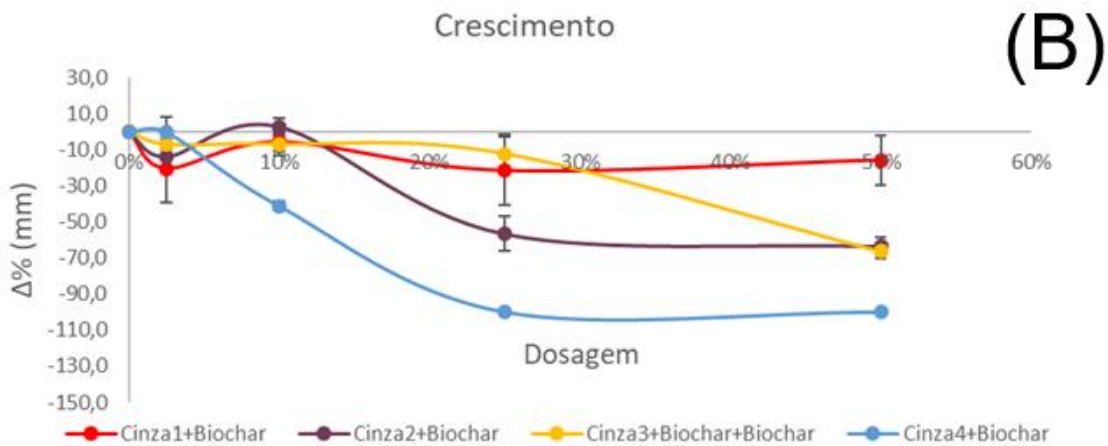
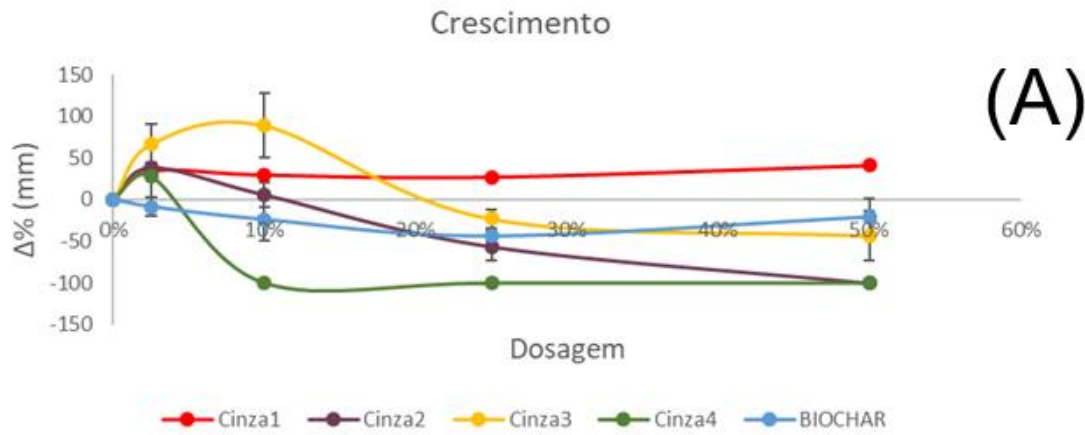
Figura 1 - Sementes germinadas para os tratamentos estabelecidos nas porcentagens estipuladas separadamente (A) e combinadamente (B). Valores negativos significam que o tratamento teve resultados inferiores ao grupo controle. O grupo controle apresentou uma média de 7 sementes germinadas



2.3.2. Crescimento inicial do trigo

O crescimento inicial do trigo, medido pelo comprimento dos brotos, pode ser visualizado nas Figuras 2A e 2B. Para este parâmetro, foi possível verificar o mesmo padrão negativo ao analisar a cinza e o biochar combinados. Todas as médias diminuíram dos tratamentos com as emendas usadas separadamente (Figura 2A) para os tratamentos com as emendas usadas combinadamente (Figura 2B). A taxa relativa de crescimento foi calculada em função da razão percentual com o grupo controle (58,5 mm).

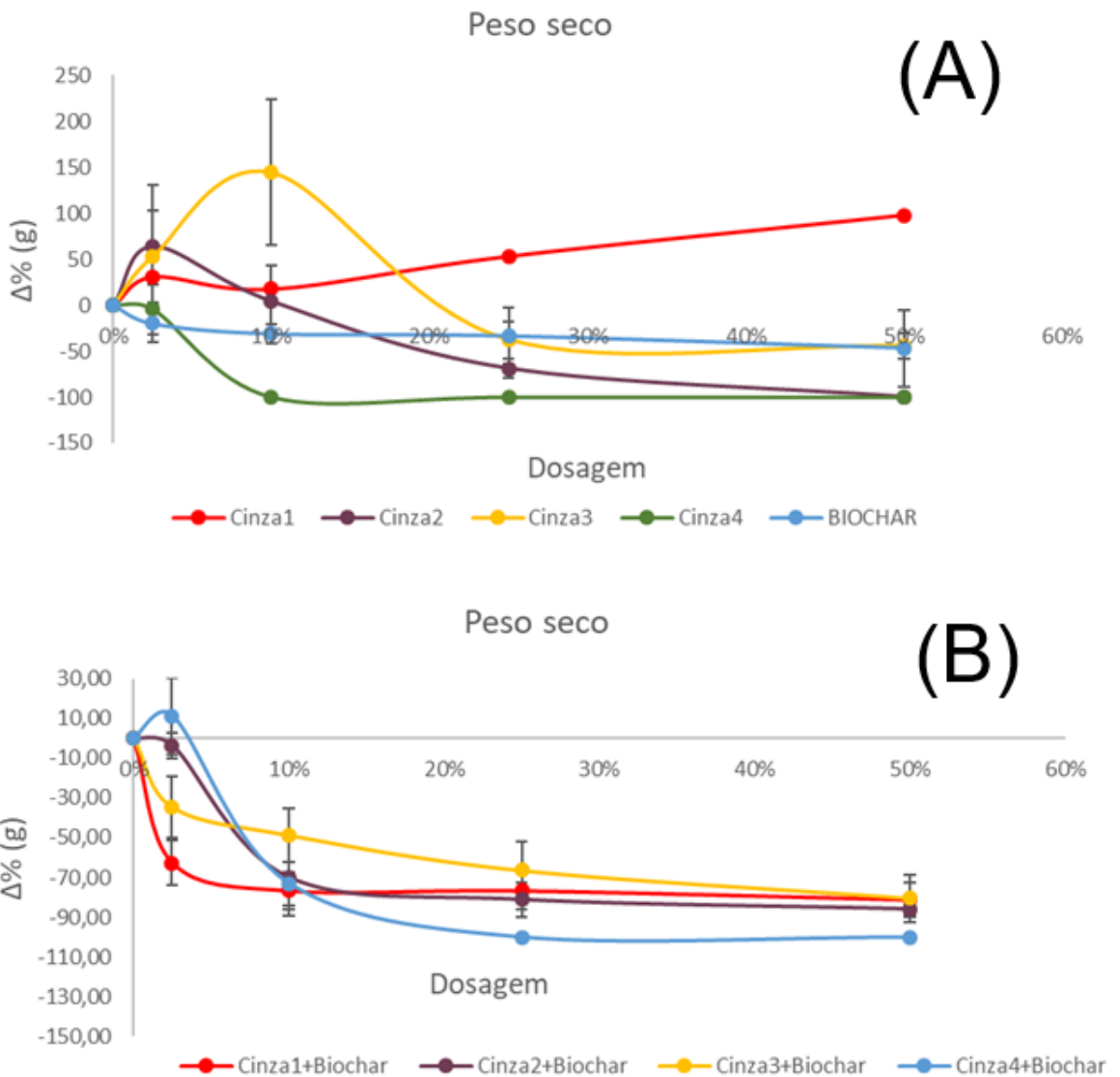
Figura 2 - Crescimento das plântulas de trigo para os tratamentos estabelecidos nas porcentagens estipuladas separadamente (A) e combinadamente (B). Valores negativos significam que o tratamento teve resultados inferiores ao grupo controle. O grupo controle apresentou uma média de altura de 58,5 mm



2.3.3. Produtividade da biomassa de trigo

A quantidade da biomassa dos brotos de trigo produzida foi medida em massa seca (Δ) para todos os tratamentos (Figura 3). Como a massa seca é uma consequência dos parâmetros germinação e crescimento, seu desempenho seguiu o mesmo padrão, ou seja, massas secas mais baixas para os tratamentos combinados. A taxa relativa de massa seca foi calculada em função da razão percentual com o grupo controle (0,04 g).

Figura 3 - Massa seca dos tratamentos estabelecidos nas porcentagens estipuladas separadamente (A) e combinadamente (B). Valores negativos significam que o tratamento teve resultados inferiores ao grupo controle. O grupo controle apresentou uma média de massa seca de 0,04 g

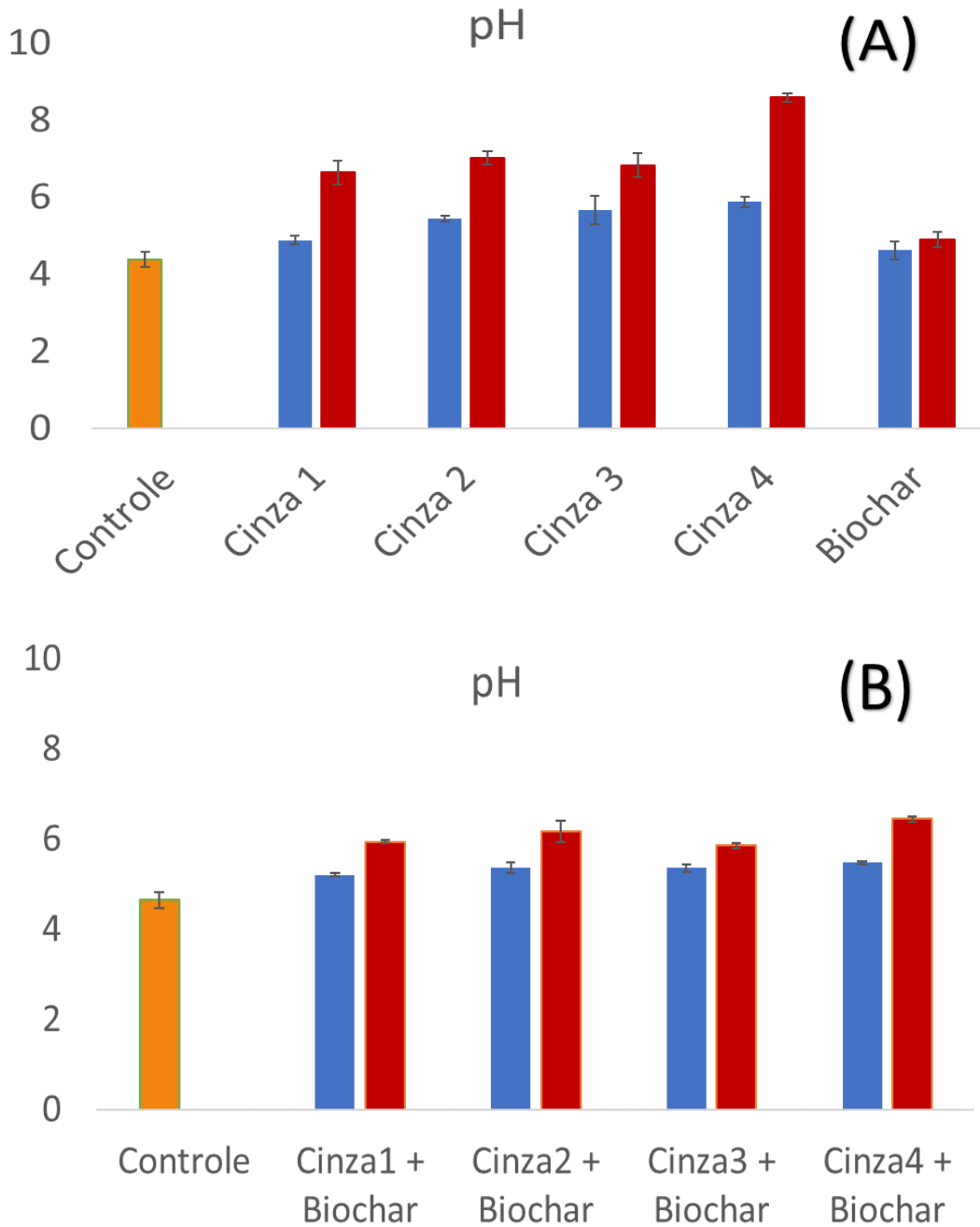


2.3.4. Potencial de calagem das cinzas

A capacidade de calagem pode ser visualizada pela análise do pH dos solos na Figura 4.

Figura 4 - pH dos solos dos tratamentos estabelecidos nas porcentagens estipuladas separadamente (A) e combinadamente (B). Onde: ■ 2,5%

■ 50% e ■ controle



Embora o biochar possa resultar em uma ampla gama de benefícios agrícolas quando aplicado ao solo, também pode afetá-lo negativamente. Dependendo da espécie que origina a biomassa, da técnica de produção (tempo de pirólise e faixa de temperatura) e do solo em que o biochar é aplicado, é possível que os resultados tenham diferentes comportamentos (KAVITHA et al., 2018). Ao invés de fornecer

nutrientes, pode começar a absorver alguns deles, como nitrogênio e ferro (KIM et al., 2015). Além disso, o biochar também pode reagir com os nutrientes do solo e começar a atuar como um concorrente, em vez de fornecer nutrientes às plantas (JOSEPH et al., 2018).

A aplicação de biochar para o desenvolvimento das culturas é indicada para solos neutros; no entanto, dependendo da cultura, o pH indicado pode variar. Para o trigo, a tolerância para ambientes ácidos é baixa e o crescimento máximo da produtividade permanece na escala de um pH 6,3 (FAGERIA; BALIGAR, 1999). Isso pode ser explicado pela crescente solubilidade de componentes como Al^{3+} e Mn^{2+} em solos ácidos, que podem afetar negativamente o crescimento e desenvolvimento do trigo (ERNANI et al., 2002).

Outro aspecto que deve ser levado em consideração é a hidrofobia do biochar. Essa característica pode proporcionar uma modificação na retenção da água no solo em que é inserido, alterando o teor de umidade desejado. Embora a hidrofobia deste material possa variar de acordo com a matéria-prima na qual ele é produzido e a temperatura de pirólise, esta tendência existe e deve ser levada em consideração (MAO et al., 2019). Compostos hidrofóbicos, quando aplicados no solo, merecem uma atenção especial em função das consequências que podem gerar, como a menor disponibilidade de água para o cultivo, resultando em impactos negativos quanto ao crescimento e/ou desenvolvimento da planta (VOGELMANN et al., 2015).

Em relação ao crescimento inicial, muitos autores já estabeleceram a relação entre o pH e o desenvolvimento do trigo, em que a parte aérea e as raízes aumentam suas áreas em ambientes neutros (SIECIŃSKA et al., 2019). A relação entre o processo de calagem e as características do solo também é conhecida. Portanto, dependendo do tipo de solo, a resposta pode ser menos ou mais significativa (DU et al., 2012).

2.3.5. Componentes químicos

Os componentes encontrados nas amostras de cinzas e de biochar apresentaram diferenças expressivas nas quantidades totais (Tabela 3).

Tabela 3 - Componentes químicos totais das cinzas e biochar analisados

Componentes		Cinza1	Cinza2	Cinza3	Cinza4	Biochar
N	%	0,10	0,11	0,10	0,18	0,23
P ₂ O ₅		0,52	0,54	1,02	2,16	0,21

K ₂ O	1,11	1,17	2,10	9,85	0,06
Ca	5,21	6,30	8,33	26,64	0,33
Mg	2,57	1,09	1,16	1,69	0,04
S	0,23	0,66	0,13	1,55	0,03
Umidade	0	2,00	1,00	1,00	3,00
Matéria orgânica	1,00	10,00	7,00	16,00	96,00
Na	4220	2028	6171	6334	585
Cu	82	67	40	148	6
Fe	mg/kg 15500	15950	13593	16476	259
Mn	1656	1563	3869	7646	257
Zn	358	177	226	3552	74
Rel. C/N	10/1	55/1	40/1	50/1	239/1

Constata-se pelos componentes determinados na análise química que em todos os tipos de cinzas, ocorreu a presença de cálcio e magnésio em quantidades variáveis. Estes componentes são de fundamental importância para o preparo do solo previamente à implantação de um cultivo. Esta etapa tem como objetivo elevar as quantidades de cálcio e magnésio para as culturas e neutralizar o pH (BERNARDI et al., 2018). A cinza 4, que apresentou maior elevação de pH no solo (Figura 4) e respostas no desenvolvimento inicial do trigo negativas (Figuras 1, 2 e 3), apresentou uma porcentagem de cálcio elevada quando comparada às demais cinzas avaliadas neste trabalho, evidenciando a necessidade de se reduzir a quantidade adicionada ao solo.

A relação C/N é um dos aspectos que deve ser levado em consideração para os materiais adicionados. Esta proporção está diretamente relacionada à possibilidade de atividade biológica e estabilidade da matéria orgânica no solo. O biochar deve apresentar uma relação C/N alta, de acordo com a temperatura de pirólise em que ele é produzido, já que com o aumento do calor, a tendência é que o material apresente mais carbono e menos nitrogênio (GUO et al., 2020). Assim, espera-se que com a adição do biochar, o solo apresente maior estoque de matéria orgânica, facilitando o desenvolvimento do cultivo. Embora neste estudo tenha sido possível verificar uma relação C/N alta no biochar avaliado, quando em comparação com as cinzas, este fator não teve impacto positivo no desenvolvimento inicial do trigo, e isso pode ter ocorrido em função do limitado número de dias que o

experimento foi avaliado (seis dias), impossibilitando respostas na decomposição e liberação dos nutrientes para as plantas (TORRES et al., 2005).

2.4 CONCLUSÕES

As cinzas e o biochar apresentaram impacto na germinação do trigo e no desenvolvimento inicial. A adição das cinzas em doses mais baixas possibilitou às plantas melhorar seu crescimento. A presença de biochar diminuiu as porcentagens de germinação e comprimento e, conseqüentemente, a massa seca das brotações de trigo. Esses resultados indicam que é necessária uma análise de nutrientes disponíveis no solo para explicar a relação entre a adição destes materiais e o trigo.

REFERÊNCIAS

- AARD. **Beneficial management practices - Environmental manual for crops producers in Alberta**. 2004. Disponível em: <<https://open.alberta.ca/publications/3033430>>. Acesso em 10 de setembro de 2019.
- AHMAD, S.; ANWAR, M.; ULLAH, H. Wheat Seed Presoaking for Improved Germination. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 181, n. 2, p. 125–127, set. 1998.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM-D4972-18: Standard test method for soil pH**. ASTM Standard Guide, p. 1–6, 2018.
- BELLOTE, A. F. J.; NEVES, E. J. M. **Calagem e Adubação em Espécies Florestais Plantadas na Propriedade Rural Circular técnica 54**. 2001, 15p. Disponível em: <eneves@cnpf.embrapa.br>. Acesso em 20 de janeiro de 2018.
- BERNARDI, A. C. C. et al. Efeito da calagem e fertilizantes aplicados à taxa variável nos atributos químicos do solo e custos de produção de pastagem de capim tanzânia manejadas intensivamente. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 12, n. 4, p. 368–382, 2018.
- CORRÊA, M. F. et al. Variabilidade espacial dos atributos químicos e agrônômicos do solo em campo de produção de sementes de trigo spatial variability of chemical and agronomic attributes of soil in wheat seed production field. **Scientia Agraria Paranaensis**, v.16, p. 500–509, 2017.
- COSTA, M. C. G. Soil and crop responses to lime and fertilizers in a fire-free land use system for smallholdings in the northern Brazilian Amazon. **Soil and Tillage Research**, v. 121, p. 27–37, maio 2012.
- DU, W.; JIANG, J.; GONG, C. Primary Research on Agricultural Effect of Sludge–Impact of Sludge Application on Crop Seeds Germination and Seedling Growth. **Procedia Environmental Sciences**, v. 16, p. 340–345, 2012.
- DURAND, N. CANADA: **outlook for principal field crops**. 2019. 11p. Disponível em: https://static.producer.com/wp-content/uploads/2019/08/21122527/Report_G001_20190821_142433.pdf. Acesso em 10 de outubro de 2019.
- ERNANI, P. R.; BAYER, C.; MAESTRI, L. Corn yield as affected by liming and tillage system on an acid Brazilian Oxisol. **Agronomy Journal**, v. 94, n. 2, p. 305–309, 2002.
- FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Growth and nutrient concentrations of common bean, lowland rice, corn, soybean, and wheat at different soil ph on an inceptisol. **Journal of Plant Nutrition**, v. 22, n. 9, p. 1495–1507, set. 1999.

GUO, K. et al. Pyrolysis temperature of biochar affects coenzymatic stoichiometry and microbial nutrient-use efficiency in a bamboo forest soil. **Geoderma**, v. 363, p. 141–162, 2020.

JOSEPH, S. et al. Microstructural and associated chemical changes during the composting of a high temperature biochar: Mechanisms for nitrate, phosphate and other nutrient retention and release. **Science of The Total Environment**, v. 618, p. 1210–1223, mar. 2018.

KAVITHA, B. et al. Benefits and limitations of biochar amendment in agricultural soils: A review. **Journal of Environmental Management**, v. 227, n. August, p. 146–154, 2018.

KIM, H.-S. et al. Effect of biochar on heavy metal immobilization and uptake by lettuce (*Lactuca sativa* L.) in agricultural soil. **Environmental Earth Sciences**, v. 74, n. 2, p. 1249–1259, 7 jul. 2015.

MAO, J.; ZHANG, K.; CHEN, B. Linking hydrophobicity of biochar to the water repellency and water holding capacity of biochar-amended soil. **Environmental Pollution**, v. 253, p. 779–789, out. 2019.

MARCANTE, N. C. et al. Determinação da matéria seca e teores de macronutrientes em folhas de frutíferas usando diferentes métodos de secagem. **Ciencia Rural**, v. 40, n. 11, p. 2398–2401, 2010.

MARESCA, A. et al. Influence of wood ash pre-treatment on leaching behaviour, liming and fertilising potential. **Waste Management**, v. 83, p. 113–122, jan. 2019.

MOHAMED, B. A. et al. The role of tailored biochar in increasing plant growth, and reducing bioavailability, phytotoxicity, and uptake of heavy metals in contaminated soil. **Environmental Pollution**, v. 230, p. 329–338, nov. 2017.

SIECIŃSKA, J. et al. Drought in acid soil increases aluminum toxicity especially of the Al-sensitive wheat. **Environmental and Experimental Botany**, v. 165, n. April, p. 185–195, set. 2019.

TORRES, J. L. R. et al. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 29, n. 1, p. 609–618, 2005.

VIEIRA FONTOURA, S. M. et al. Effect of gypsum rates and lime with different reactivity on soil acidity and crop grain yields in a subtropical Oxisol under no-tillage. **Soil and Tillage Research**, v. 193, n. April, p. 27–41, out. 2019.

VOGELMANN, E. S.; PREVEDELLO, J.; REICHERT, J. M. Origem dos compostos hidrofóbicos e seus efeitos em florestas de *Pinus* e *Eucalyptus*. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 4, p. 1067–1079, 30 dez. 2015.

CAPÍTULO 3

APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE CALDEIRA DE BIOMASSA NO PROCESSO DE CALAGEM DO SOLO

Ana Larissa Santiago Hansted, José Mauro Santana da Silva, Fábio Minoru Yamaji,
Vladimir Eliodoro Costa

RESUMO: No processo de queima da biomassa para geração de calor ocorre a formação das cinzas. As cinzas são todos os componentes que não fazem parte do processo de queima e, desta forma, são inversamente proporcionais à geração de calor. As cinzas são compostas por materiais inorgânicos, minerais como Silício, Cálcio, Magnésio, Fósforo, Ferro, Alumínio, Potássio, entre outros. Tais componentes apresentam potencial para estimular o desenvolvimento de vegetais. Desta forma, o objetivo deste estudo foi caracterizar as cinzas de caldeira de biomassa e avaliar seu aproveitamento no processo de calagem do solo para desenvolvimento de eucalipto em campo. Foram utilizadas cinzas de caldeira de uma empresa de painéis de madeira. A caracterização definiu os micros e macronutrientes das cinzas, o pH do solo, e possíveis deficiências das árvores ao longo do experimento. Para avaliar o aproveitamento das cinzas no desenvolvimento do eucalipto foram realizados cinco tratamentos de calagem no solo: T1 (100% calcário), T2 (75% calcário e 25% cinzas), T3 (50% calcário e 50% cinzas), T4 (25% calcário e 75% cinzas) e T5 (100% cinzas). No plantio de eucalipto, com espaçamento 3 x 2m, foram avaliadas as variáveis altura e diâmetro à altura do colo (DAC) das mudas ao longo de doze meses em campo. Foram também realizadas análises químicas do solo ao longo do mesmo período. Foi possível verificar o aproveitamento das cinzas de caldeira de biomassa no processo de calagem do solo para o desenvolvimento de eucalipto.

Palavras-chave: Cinzas, pH, eucalipto.

USE OF BIOMASS BOILER WASTE IN THE LIMING PROCESS OF THE SOIL

ABSTRACT: In the process of burning biomass for heat generation, ash formation occurs. Ashes are all components that are not part of the firing process and, therefore, are inversely proportional to the generation of heat. The ashes are composed of inorganic materials, minerals such as Silicon, Calcium, Magnesium, Phosphorus, Iron, Aluminum, Potassium, among others. Such components have the potential to stimulate the development of vegetables. Thus, the objective of this study was to characterize the biomass boiler ash and to evaluate its use in the process of liming the soil for the development of eucalyptus in the field. Boiler ash from a wood panel company was used. The characterization defined the micro and macronutrients of the ash, the pH of the soil, and possible deficiencies of the trees throughout the experiment. To assess the use of ash in the development of eucalyptus, five liming treatments were carried out on the soil: T1 (100% limestone), T2 (75% limestone and 25% ash), T3 (50% limestone and 50% ash), T4 (25% limestone and 75% ash) and T5 (100% ash). In the eucalyptus plantation, with 3 x 2m spacing, the height and diameter at neck height (CAD) variables of the seedlings were evaluated over twelve months in the field. Chemical analyzes of the soil were also carried out over the same period. It was possible to verify the use of biomass boiler ash in the process of liming the soil for the development of eucalyptus.

Keywords: Ashes, pH, eucalyptus.

3.1 INTRODUÇÃO

O aumento da utilização da bioenergia é uma das perspectivas positivas para minimizar as crises energéticas quanto aos setores financeiros e ambientais. A aplicação de biocombustíveis no setor industrial revela uma alternativa viável para a redução nos custos dos processos e apresenta uma possibilidade de autonomia maior, quando comparada à dependência de combustíveis fósseis (GOLDEMBERG et al., 2008).

Apesar de ainda pequena, a participação da biomassa vegetal no Brasil apresenta um grande potencial. O conceito de uso múltiplo das florestas plantadas está se tornando mais frequente e o aproveitamento dos plantios como um todo, inclusive dos resíduos, já é uma realidade (GOLDEMBERG et al., 2008). Assim, são aproveitados os resíduos de biomassa de indústrias da base florestal como a casca da árvore, pó de lixa, pó de serra ou até mesmo o cavaco. A utilização desta biomassa para a queima em caldeiras e cogeração de energia providencia o chamado ciclo fechado do carbono, ou seja, a emissão que ocorre com a combustão é consumida no desenvolvimento das árvores, evitando o aumento do carbono na atmosfera (CASTANHO e OLIVETTE, 2016).

À medida que a biomassa é inserida na caldeira, ocorre a queima deste material, sendo gerado calor para o sistema. Neste processo, ocorre também a formação das cinzas em seu interior. As cinzas são todos os componentes que não fazem parte do processo de queima e, desta forma, são inversamente proporcionais à geração de calor (DIBDIAKOVA et al., 2017; HANSTED et al., 2016). Em uma empresa produtora de painéis que consome 780 mil m³ de madeira por ano, utilizando caldeiras de biomassa, são geradas aproximadamente 600 toneladas de cinzas mensalmente. Este material é descartado, uma vez que não apresenta finalidade para qualquer processo dentro da empresa.

As cinzas são compostas por materiais inorgânicos, minerais como silício, cálcio, magnésio, fósforo, ferro, alumínio, potássio, entre outros (VASSILEV et al., 2017). Tais componentes apresentam potencial para o desenvolvimento de vegetais, podendo auxiliar na preparação do solo no âmbito florestal e na agricultura (FLORES et al., 2017). A liberação de nutrientes das cinzas para o solo em que este componente é inserido ocorre de forma não completamente compreendida e pode

apresentar variações em função da forma em que é produzida e da quantidade em que é disposta no local de interesse (ZHANG et al., 2018).

Em caldeiras utilizadas industrialmente, pode ocorrer uma baixa eficiência no processo de incineração, resultando em resquícios de componentes orgânicos em sua composição. A presença de carbono deve variar de acordo com o tempo que o material permanece na caldeira e com a oscilação da temperatura (STRAKA et al., 2014; ZHANG et al., 2017). Outro componente que pode ocorrer em abundância nas cinzas é o cálcio. A adição das cinzas em plantios já se mostrou eficiente em diversos estudos e, embora o eucalipto não seja um gênero exigente quanto à fertilidade e o pH do solo, o controle e a correção do mesmo podem aumentar sua produtividade significativamente (RIBEIRO et al., 2015). A aplicação de calcário, por exemplo, atua na correção da acidez do solo e pode gerar ganhos em capacidade fotossintética por meio do aumento das folhas e maiores diâmetros de fuste e altura. Todas essas vantagens implicam em maior produtividade de volume de madeira (RODRIGUES et al., 2016). Assim, a substituição deste componente pelas cinzas geradas na própria empresa, seja feita parcial ou totalmente, pode gerar ganhos ambientais e econômicos (CACURO; WALDMAN, 2015).

Para suprir as necessidades de nutrientes no desenvolvimento da muda, é imprescindível o fornecimento de diversos elementos, nas ordens de importância: $P > N > K > Ca > Mg$ (PINTO et al., 2011). Já os elementos carbono, hidrogênio e oxigênio, que não são compostos orgânicos, também são elementos essenciais para o desenvolvimento da planta e devem representar de 90 a 95% da massa seca de um vegetal. A deficiência em qualquer um deles influencia diretamente na nutrição (PES; ARENHARDT, 2015).

O objetivo deste estudo foi caracterizar as cinzas de caldeiras de biomassa e avaliar seu aproveitamento no processo de calagem para o desenvolvimento de eucalipto em campo.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 ÁREA DO EXPERIMENTO

O experimento foi realizado na área de pesquisa de campo da Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba/SP. O clima da região é tropical quente e úmido, com verão marcado por umidade relativa alta, pluviosidade média de 200 mm

mensais e no inverno, 30 mm mensais. A vegetação é caracterizada como Floresta Estacional Semidecidual, com traços de Cerrado e Floresta Ombrófila Densa. O solo da região é caracterizado como misto (argilo-arenoso) e apresenta ausência de pedregosidade (SCHIEVENIN et al., 2012). As etapas do experimento podem ser visualizadas em Figura 1:

Figura 1 - Etapas do preparo do experimento. * as medições foram realizadas aos três, seis e doze meses

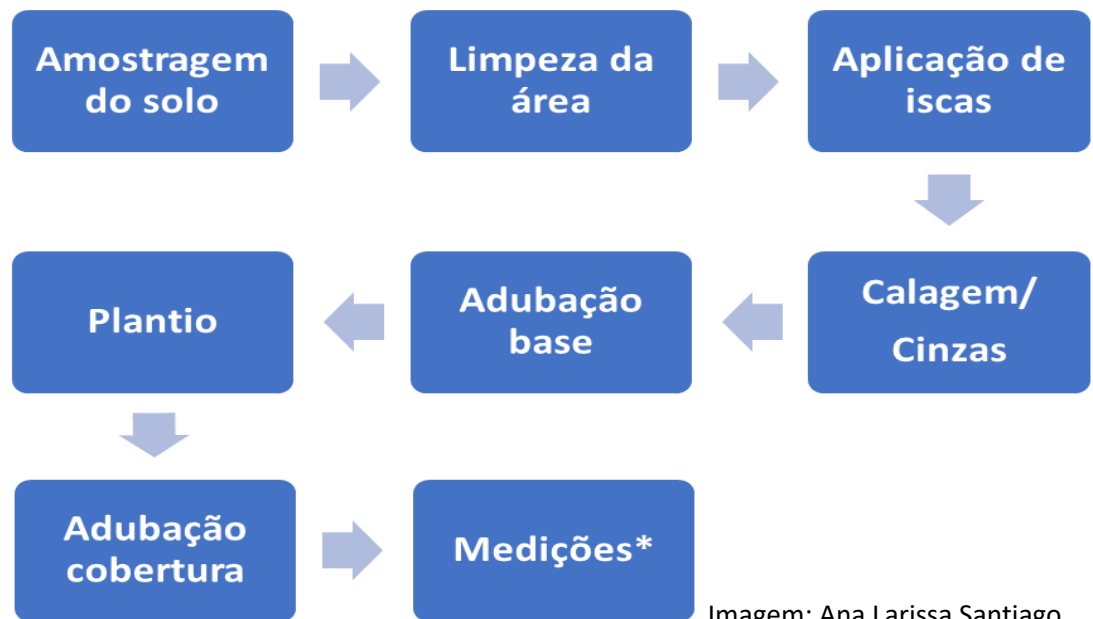


Imagem: Ana Larissa Santiago Hansted - 2018

3.2.2 OBTENÇÃO DAS CINZAS

As cinzas de caldeira de biomassa utilizadas foram cedidas por uma empresa de painéis de madeira reconstituída. As cinzas eram provenientes de uma caldeira que realizava a queima das biomassas: casca, pó de lixa, pó de serra e resíduos da construção civil.

Foram utilizadas 10 toneladas de cinzas e a coleta para a instalação do experimento foi realizada em julho de 2018. O material foi transportado e depositado no local de experimento

A geração deste resíduo ocorre com o funcionamento de três caldeiras de biomassa, que juntas somam 630 toneladas de cinzas por mês. Para este experimento, uma das caldeiras foi escolhida em função da maior quantidade de resíduo produzido.

3.2.3 CARACTERIZAÇÃO DAS CINZAS

O teor de materiais minerais e inorgânicos nas cinzas foi realizado por meio da análise do teor de cinzas conforme a ASTM D1102 – 84 ((2013), 1984).

A distribuição granulométrica das partículas das cinzas foi realizada com o objetivo de se calcular o Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT). As seguintes malhas foram utilizadas:

- ABNT 10: > 2,00 mm
- ABNT 20: < 2,00 mm e > 0,85 mm
- ABNT 40: < 0,85 mm e > 0,60 mm
- Fundo: < 0,60 mm

3.2.4 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO SOLO

As amostras de solo foram avaliadas quanto aos atributos químicos: pH (CaCl₂), matéria orgânica (MO), soma de bases trocáveis (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V%) e presença dos componentes H⁺Al, K, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Mn e Zn. As coletas foram realizadas nas profundidades estabelecidas para avaliação em espécies florestais (CARDOSO; FERNANDES; FERNANDES, 2009): camada 1: 0-20 cm. Os momentos das coletas foram nos meses zero, seis e doze do plantio. A calagem foi realizada aproximadamente 40 dias antes do plantio para maximizar a eficiência nas plantas (MARTINS, 2004).

Foram coletadas amostras de solo com as profundidades 0-40 cm. A amostragem do solo foi realizada de forma tradicional, ou seja, a pequena porção retirada representa a área total, que se pressupõe que seja homogênea. Ainda, foram coletadas de forma composta, onde mistura-se amostras homogêneas da mesma gleba, nas alturas correspondentes (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999).

Quanto à quantidade de amostras, a recomendação é que se realize um mínimo de 2 amostras por hectare (CARDOSO; FERNANDES; FERNANDES, 2009). Para a caracterização da área total do experimento de 3600 m², foram realizadas 2 amostragens aleatórias e compostas.

3.2.5 CÁLCULO DE CALAGEM

O cálculo de calagem foi realizado de acordo com a equação (1) (RAJI et al., 1996):

$$NC = \frac{CTC (V2 - V1)}{PRNT} \quad (1)$$

Onde:

NC: Necessidade de calcário, em t.ha⁻¹

CTC: Capacidade de troca de cátions do solo

V2: Saturação por base esperada

V1: Saturação por base do solo

PRNT: Poder reativo de neutralização total

3.2.6 CÁLCULO DA QUANTIDADE DE APLICAÇÃO DE CINZAS

Para o cálculo da quantidade total de cinzas, foi necessário estabelecer os seguintes componentes do material: PRNT – poder relativo de neutralização total; Pn – poder de neutralização; Re – reatividade total. Tais componentes são calculados de acordo com as fórmulas (2), (3) e (4) (ALCARDE e RODELLA, 1996):

$$Re = 0 * m1 + 0,2 * m2 + 06 * m3 + 1 * m4 \quad (2)$$

Onde: Re= reatividade total

m1= material > 2,00 mm

m2 = material > 0,84 mm

m3 = material > 0,30 mm

m4 = material < 0,30 mm

$$Pn = ECaCO3 (CaO) + ECaCO3 (MgO) \quad (3)$$

Onde: ECaCO₃(Ca): Equivalente CaCO₃ em cálcio (1,7884*%Ca)

ECaCO₃(Mg): Equivalente CaCO₃ em magnésio (2,48*%Mg)

$$PRNT = \frac{Pn+Re}{100} \quad (4)$$

Onde: PRNT: Poder relativo de neutralização total;

Pn: Poder de neutralização

Re: Reatividade total

3.2.7 INSTALAÇÃO DO PLANTIO

Para a realização de instalação do plantio, foram estabelecidos os tratamentos com diferentes concentrações de calagem e adição de cinzas:

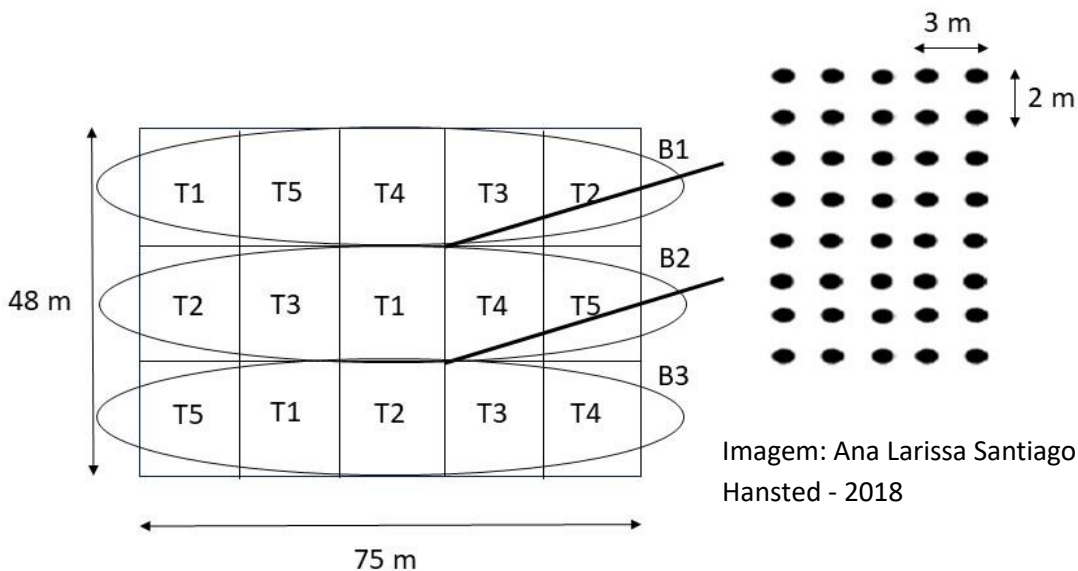
- T1: 100% calcário e 0% cinzas
- T2: 75% calcário e 25% cinzas

- T3: 50% calcário e 50% cinzas
- T4: 25% calcário e 75% cinzas
- T5: 0% calcário e 100% cinzas

A aplicação da calagem/cinzas foi realizada em área total, aproximadamente 40 dias antes de se realizar o plantio das mudas, conforme a indicação para correção de solo (CAIRES e ROSOLEM, 1998).

O plantio foi estabelecido no espaçamento 3 x 2 m, com um total de 200 indivíduos por bloco. Foram delineados três blocos ao acaso, totalizando 600 árvores em 3600 m² (Figura 2). Foi realizado um replantio até os 45 dias do início do experimento para diminuição das falhas.

Figura 2 - Esquema de plantio em delineamento em blocos casualizados, com três blocos e cinco tratamentos



O preparo do solo foi realizado com o auxílio de herbicida e roçagens, previamente à adição dos tratamentos (calagem e cinzas), promovendo o controle de ervas daninhas na área (Figura 3).

Figura 3 - Imagem aérea da área (48 x 75 m) de plantio após o preparo do solo para a adição dos tratamentos e início do experimento



A adubação do plantio seguiu a recomendação comercial da região, conforme especificado pela empresa doadora das mudas: adubação inicial (de base) de 150g/muda com NPK 4-30-10. Após 5 meses de instalação do plantio, foi realizada uma adubação de cobertura com NPK 20-0-20.

3.2.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O delineamento experimental escolhido foi o de blocos casualizados (DBC), o qual é utilizado quando se suspeita que a localização do experimento não seja homogênea. O DBC considera os princípios de repetição, aleatorização e controle local. Os blocos devem incluir todos os tratamentos, e dentro de cada bloco os tratamentos devem ser distribuídos aleatoriamente (BUSSAB; MORETTIN, 2010). Foram formados três blocos com cinco tratamentos (Figura 2).

3.2.9 VARIÁVEIS AVALIADAS DAS MUDAS DE EUCALIPTO

Para a avaliação do desenvolvimento das mudas de eucalipto foram analisados os seguintes aspectos: DAC – diâmetro à altura do colo e H – altura total. Tais variáveis dendrométricas são indicativos de qualidade, sendo importantes para prever o sucesso de plantios florestais (DE OLIVEIRA et al., 2018; FARIAS; NICOLETTI; AGUIAR, 2019). As medições foram realizadas aos 6, 9 e 12 meses pós-plantio.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O solo caracterizado inicialmente apresentou características divergentes em relação à fertilidade, conforme exposto em Tabela 1:

Tabela 1 - Análise químicas (valores médios da análise em duplicata) do solo antes da aplicação dos tratamentos

Características	Valor
pH	4,95
M.O.	g.dm ⁻³ 15
H+Al	19,50
K	1,25
Ca	mmolc.dm ⁻³ 25,00
Mg	3,50
SB	30,00
P resina	2,00
CTC	50,00
V%	61,00
B	mg.dm ⁻³ 0,46
Cu	0,35
Fe	21,50
Mn	5,90
Zn	0,15

O solo apresentou valores médios de pH ácidos (<7) e esse é um dos fatores para a recomendação do processo de calagem. A calagem não tem a função exclusiva de elevar o pH, mas também de disponibilizar cálcio e magnésio para a cultura e auxiliar no estabelecimento da planta por meio do desenvolvimento radicular (RODRIGUES et al., 2016). Desta forma, os outros indicadores que podem influenciar para a adição de calcário no solo são também a quantidade inicial de cálcio e magnésio, ou até o valor encontrado para saturação por bases (V%) (KAMINSKI et al., 2002).

A saturação por bases é um componente calculado a partir dos elementos Cálcio, Magnésio e Potássio, assim, leva em consideração a necessidade do solo. Um solo é considerado deficiente nesses elementos quando o V% está abaixo de 50%, porém o aumento deste percentual é benéfico e considerado de qualidade

quando o V% apresenta valores superiores a 80% (RIBEIRO et al., 1999). Assim, neste experimento foi estipulado que a quantidade de calcário fosse suficiente para elevar o V% de 61% a 65%. Este percentual de 65% foi definido para que a quantidade incorporada se assemelhasse ao realizado comercialmente pelas empresas da região do estudo (2 toneladas/hectare).

Para que as quantidades de cálcio e cinzas fossem equivalentes, o PRNT das cinzas foi calculado, e desta forma, as quantidades totais aplicadas nos tratamentos estabelecidos, em cada repetição (240 m²) estão apresentadas em Tabela 2:

Tabela 2 - Quantidade de calcário e/ou de cinzas adicionadas na área experimental por tratamento

Tratamentos	Quantidade calcário/cinzas
T1	48 kg calcário
T2	36 kg calcário + 70,5 kg cinzas
T3	24 kg calcário + 141 kg cinzas
T4	12 kg calcário + 211,5 kg cinzas
T5	282 kg cinzas

A análise do solo, realizada após seis meses e ao final do experimento (doze meses - em andamento), pode ser visualizada na Tabela 3.

Tabela 3 - Características químicas do solo após seis meses da implantação do experimento. Valores médios seguidos do desvio padrão quando realizados em triplicatas

Características	Tratamentos	
	T1	T5
pH	5,1 (±0,1)	5,0 (±0,2)
M.O.	g.dm ⁻³ 16,0	19,0 (±5,0)
P _{resina}	mg.dm ⁻³ 3,0 (±1,0)	3,0 (±1,0)
H+Al	0	1,0 (±3,5)
Al ³⁺	0	1,0 (±0,5)
K	mmolc.dm ⁻³ 1,0 (±0,4)	1,7 (±1,0)
Ca	28,0 (±2,1)	31,0 (±4,8)
Mg	4,0 (±0,7)	4,0 (±0,3)
SB	33,0 (±1,0)	36,0 (±5,9)

CTC		52,0 ($\pm 1,4$)	54,0 ($\pm 5,1$)
V%		64,0 ($\pm 3,5$)	63,0 ($\pm 7,1$)
B		0,18	0,21
Cu		0,6 ($\pm 0,1$)	0,7
Fe	mg.dm ⁻³	76,0 ($\pm 8,0$)	82,0 ($\pm 17,0$)
Mn		1,2	1,3 ($\pm 0,1$)
Zn		0,3	0,2

O solo avaliado após seis meses apresentou variações nos componentes esperados: pH, Ca, Mg e como consequência, em V%. O calcário deve alterar positivamente o pH e os teores de Mg e Ca (RHEINHEIMER et al., 2000). Nos tratamentos exclusivamente com calcário ou cinzas, T1 e T5, respectivamente, verificou-se uma similaridade nos resultados quanto aos componentes em questão. A análise após 12 meses de experimento pode ser verificada em Tabela 4:

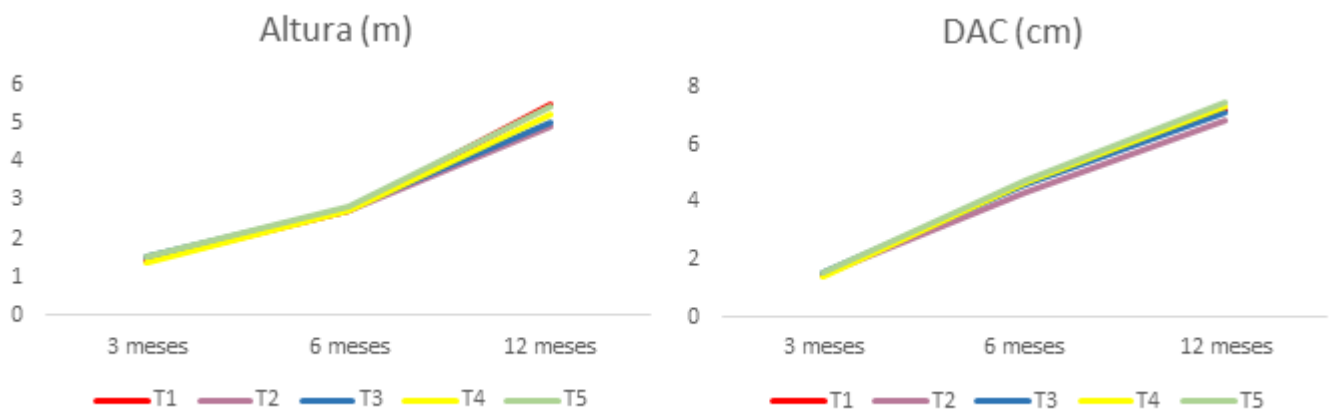
Tabela 4 - Características químicas do solo após doze meses da implantação do experimento. Valores médios seguidos do desvio padrão

Características	Tratamentos				
	T1	T2	T3	T4	T5
pH	5,1 ($\pm 0,4$)	4,9 ($\pm 0,3$)	4,8 ($\pm 0,1$)	4,9 ($\pm 0,3$)	4,7 ($\pm 0,2$)
MO g/dm ³	32 ($\pm 0,9$)	28,8 ($\pm 2,7$)	26,3 ($\pm 0,7$)	30,1 ($\pm 0,5$)	34,9 ($\pm 0,2$)
P resina	3,6 ($\pm 0,3$)	2,9 ($\pm 0,1$)	2,2 ($\pm 0,1$)	3,0	3,9 ($\pm 0,1$)
H+Al	26,9 ($\pm 2,7$)	31,7 ($\pm 3,9$)	29,8 ($\pm 2,2$)	30,1 ($\pm 2,4$)	33,7 ($\pm 3,8$)
K	1,2 ($\pm 0,2$)	2,1 ($\pm 0,2$)	2,2 ($\pm 0,3$)	3,4 ($\pm 0,4$)	2,3 ($\pm 0,1$)
Ca mmolc/dm ³	29,2 ($\pm 1,4$)	23,3 ($\pm 1,4$)	28,5 ($\pm 2,5$)	28,5 ($\pm 1,3$)	29,6 ($\pm 0,7$)
Mg	5,6 ($\pm 0,4$)	5,1 ($\pm 0,2$)	5,5 ($\pm 0,7$)	6,2 ($\pm 0,4$)	6,5 ($\pm 0,5$)
SB	36 ($\pm 1,7$)	30,5 ($\pm 1,3$)	36,2 ($\pm 3,4$)	38,1 ($\pm 1,9$)	38,4 ($\pm 0,5$)
CTC	62,9 ($\pm 3,7$)	62,2 ($\pm 3,9$)	66 ($\pm 1,3$)	68,2 ($\pm 1,2$)	72,2 ($\pm 3,6$)
V%	57,3 ($\pm 2,1$)	49,2 ($\pm 3,2$)	54,9 ($\pm 4,1$)	55,9 ($\pm 3,1$)	53,3 (± 3)
B	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4 (\pm)
Cu	0,8	0,8 ($\pm 0,1$)	0,6	1,0	0,9
Fe mg/dm ³	103 ($\pm 0,3$)	104,6 ($\pm 1,6$)	87,5 ($\pm 0,6$)	112,5 ($\pm 1,7$)	113,3 ($\pm 0,9$)
Mn	6,8 ($\pm 0,1$)	2,1 ($\pm 0,1$)	4,4 ($\pm 0,1$)	6,5	6,3 ($\pm 0,1$)
Zn	1,3	0,6 ($\pm 0,1$)	0,8	2,0	1,8

A análise das características do solo aos doze meses de plantio indica uma queda nos valores de cálcio e V% que inicialmente foram ajustados (Tabela 3). Embora espera-se que a aplicação de calcário fique incorporada por um período no solo, o efeito residual do processo é inversamente proporcional ao PRNT do produto, ou seja, quanto mais rápida é a resposta no solo, menor é o tempo de duração da correção de acidez. Neste estudo, o PRNT utilizado foi de 100% e, desta forma com doze meses de experimento não deveria apresentar resíduo da correção (ALCARDE, 1992). Outro fator que deve alterar os componentes químicos do solo é a presença do plantio de eucalipto, que deve assimilar os componentes disponíveis, com destaque para o cálcio, nitrogênio, potássio magnésio e fósforo (FOELKEL, 2005).

A avaliação quanto às variáveis altura e diâmetro à altura do colo (DAC) das árvores de eucalipto ao longo dos doze meses pode ser verificada em Figura 4.

Figura 4 - Crescimento em altura e DAC das árvores de eucalipto ao longo de doze meses



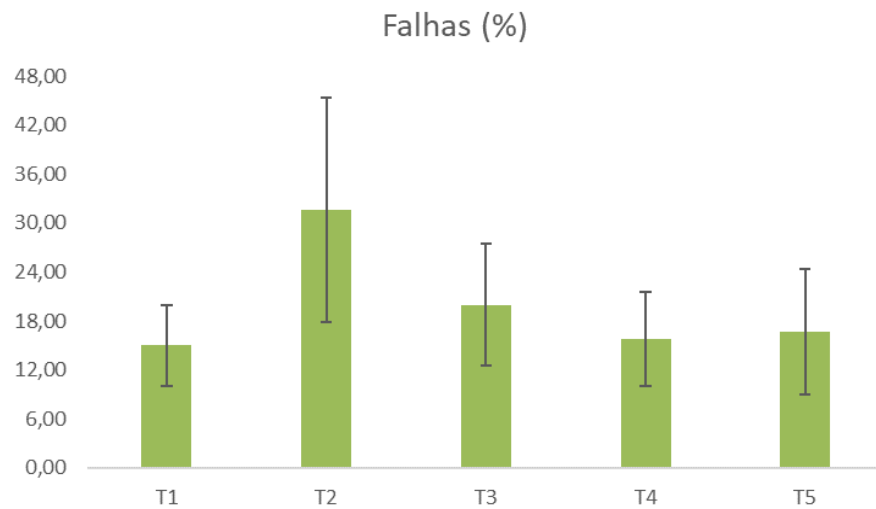
As análises estatísticas evidenciaram diferenças significativas entre os tratamentos conforme o resultado da Análise de Variância. Verificou-se quais médias diferiram entre si com o teste Tukey (Tabela 4).

Tabela 4 - Medições médias de todos os tratamentos ao longo dos doze meses, seguidos dos desvios padrões. Médias seguidas por letras diferentes não diferem à 5% de significância pelo teste Tukey

Tratamentos	Meses	T1	T2	T3	T4	T5
		Altura (m)	3	1,45ab(±0,22)	1,48ab(±0,31)	1,53a(±0,33)
	6	2,75a(±0,22)	2,75a(±0,27)	2,78a(±0,20)	2,75a(±0,19)	2,82a(±0,28)
	12	5,49a(±0,44)	4,93c(±0,71)	5,05bc(±0,72)	5,26ab(±0,56)	5,44a(±0,42)
DAC (cm)	3	1,94b(±0,45)	1,95b(±0,41)	2,21a(±0,46)	2,1ab(±0,44)	2,22a(±0,63)
	6	4,68ab(±0,51)	4,39b(±0,71)	4,59ab(±0,72)	4,69ab(±0,83)	4,78a(±0,81)
	12	7,2ab(±0,64)	6,82b(±1,01)	7,09ab(±0,94)	7,35a(±0,99)	7,45a(±0,96)

Foi possível verificar que o T2 apresentou os menores resultados quanto à altura e ao diâmetro (Tabela 4). Apesar de estar de acordo com o esperado para o eucalipto no espaçamento estabelecido (de 3 a 6 metros) (SILVA et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2015), sua média se diferenciou significativamente dos outros tratamentos. Em função da posição de uma de suas parcelas que apresentou porcentagem de falhas de 45%, esse tratamento ficou em defasagem, quando comparado aos outros tratamentos que tiveram uma média de perda de 16,8% (Figura 5). Foi identificada a presença de lebres na região de estudo, fator que foi prejudicial para o desenvolvimento do eucalipto, como já relatado na literatura (FERREIRA et al., 2005; ROVEDDER; ELTZ, 2008).

Figura 5 - Porcentagem média das falhas em todos os tratamentos estabelecidos, considerando as repetições



O experimento, que inicialmente contava com 40 indivíduos em cada repetição dos tratamentos, foi, desta forma, realizado com 22 árvores por parcela em função das perdas. As rebrotas naturais foram desconsideradas de todos os tratamentos para descartar influências externas nos resultados. Entretanto, no T2 todos os indivíduos foram considerados em decorrência do número reduzido de plantas. Tal condição pode ter reduzido as médias do T2 e resultado em diferenças quando comparado aos outros tratamentos.

3.4 CONCLUSÕES

Foi possível evidenciar a viabilidade de se utilizar resíduos de caldeira para o beneficiamento do solo e substituição parcial ou completa do processo de calagem. É necessário ressaltar que a análise química dos componentes do resíduo deve ser realizada previamente à sua utilização, uma vez que este material pode apresentar variações em seus componentes.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM-D1102**: Standard Test Method for Ash in Wood, p. 1–2, 1984

ALCARDE, J. C. **Corretivos de acidez dos solos : características e Interpretações técnicas**. ANDA - Associação Nacional para Difusão de adubos e corretivos agrícolas. São Paulo. 1992. Disponível em: <https://biblioteca.incaper.es.gov.br/busca?b=ad&id=17674&biblioteca=vazio&busca=autoria:%22ALCARDE,%20J.%20C.%22&qFacets=autoria:%22ALCARDE,%20J.%20C.%22&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1>. Acesso em fevereiro de 2017.

ALCARDE, J. C.; RODELLA, A. A. Avaliação química de corretivos de acidez para fins agrícolas: uma nova proposição. **Scientia Agricola**, v. 53, n. 2–3, p. 211–216, maio 1996.

BUSSAB, W. DE O.; MORETTIN, P. A. **Wilton de o. bussab pedro a. morettin**. 6. ed. São Paulo: Saraiva, 2010.

CACURO, T. A.; WALDMAN, W. R. Fly-Ash from Biomass Burning: Applications and Potentialities. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 6, p. 2154–2165, 2015.

CAIRES, E. F.; ROSOLEM, C. A. CORREÇÃO DA ACIDEZ DO SOLO E DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA RADICULAR DO AMENDOIM EM FUNÇÃO DA CALAGEM. **Bragantia**, v. 57, n. 1, p. 172–184, 1998.

CARDOSO, E. L.; FERNANDES, A. H. B. M.; FERNANDES, F. A. **Análise de Solos: Finalidade e Procedimentos de Amostragem Comunicado técnico- Embrapa**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: http://www.cpap.embrapa.br/publicacoes/download.php?arq_pdf=COT79.

CASTANHO, E.; OLIVETTE, M. **São Paulo: do desmatamento às novas fronteiras 1980 - 2015**. Autografia ed.

DA SILVA, P. H. M. et al. Mortalidade, crescimento e solução do solo em eucalipto com aplicação de fertilizante de liberação lenta. **Cerne**, v. 21, n. 3, p. 473–481, 2015.

DE OLIVEIRA, C. M. M. et al. Modelo 3-PG na previsão do potencial produtivo de áreas para plantios comerciais de *Eucalyptus* spp. **Ciencia Florestal**, v. 28, n. 1, p. 249–262, 2018.

DIBDIAKOVA, J.; WANG, L.; HAILONG, L. Heating value and ash content of downy birch forest biomass. **Energy porcedia**, v. 105, p. 1302–1308, 2017.

FARIAS, K. J.; NICOLETTI, M. F.; AGUIAR, N. S. DE. Quantificação do volume total por meio de modelos volumétricos e de afilamento em *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 1, p. 33–40, 2019.

FERREIRA, S. B. et al. **Diagnóstico preliminar das espécies exóticas invasoras**

- nas unidades de conservação da mata atlântica.** I Simpósio Brasileiro sobre Espécies Exóticas Invasoras. **Anais...**2005. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/174/_arquivos/174_05122008113802.pdf. Acesso em 10 de janeiro de 2018.
- FLORES, C. G. et al. Potassic zeolites from Brazilian coal ash for use as a fertilizer in agriculture. **Waste Management**, v. 70, p. 263–271, 2017.
- FOELKEL, C. **Minerais e nutrientes das árvores dos eucaliptos: Aspectos ambientais, fisiológicos, silviculturais e industriais acerca dos elementos inorgânicos presentes nas árvores.** 1ed. São Paulo: ABTCP, 2005.133p.
- GOLDEMBERG, J.; NIGRO, F. E. B.; COELHO, S. T. **Bioenergia no Estado de São Paulo: situação atual, perspectivas, barreiras e propostas.** Imprensa 1 ed. São Paulo. 2008. 150p.
- HANSTED, A. L. S. et al. Comparative analyses of fast growing species in different moisture content for high quality solid fuel production. **Fuel**, v. 184, p. 180–184, 2016.
- KAMINSKI, J. et al. Estimativa da acidez potencial em solos e sua implicação no cálculo da necessidade de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 4, p. 1107–1113, dez. 2002.
- MARTINS, L. G. C. **MÉTODO DE RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO PARA EUCALIPTO COM BASE NO MONITORAMENTO NUTRICIONAL.** [s.l.] Universidade Federal de Viçosa, 2004.
- OLIVEIRA, F. L. R. DE et al. Crescimento inicial de eucalipto e acácia, em diferentes arranjos de integração lavoura-pecuária-floresta. **CERNE**, v. 21, n. 2, p. 227–233, jun. 2015.
- PES, L. Z.; ARENHARDT, M. H. **Fisiologia Vegetal-** Santa Maria, RS : Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Politécnico, Rede e-Tec Brasil, 2015. 81 p.
- PINTO, S. I. DO C. et al. Eficiência nutricional de clones de eucalipto na fase de mudas cultivados em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 35, n. 1, p. 523–533, 2011.
- RAJI, B. VAN et al. **Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo.** EMBRAPA, IAC. Boletim Tecnico, 100. 1996. 285p.
- RHEINHEIMER, D. DOS S. et al. Aplicação superficial de calcário no sistema plantio direto consolidado em solo arenoso. **Ciência Rural**, v. 30, n. 2, p. 263–268, 2000.
- RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. (EDS.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em minas gerais.** Viçoca: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999.

RIBEIRO, R. M. et al. **Utilização da cinza vegetal para calagem e correção de solos - Um estudo de caso para a região metropolitana de Curitiba (RMC)**. Centro Científico Conhecer, Agrarian Academy. **Anais...**2015

RODRIGUES, F. A. V. et al. Produtividade de eucalipto aos 18 meses de idade, na região do Cerrado, em resposta à aplicação de cálcio, via calcário e gesso agrícola. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 109, p. 67–74, 2016.

ROVEDDER, A. P. M.; ELTZ, F. L. F. Desenvolvimento do *Pinus elliottii* e do *Eucalyptus tereticorni* consorciado com plantas de cobertura, em solos degradados por arenização. **Ciencia Rural**, v. 38, n. 1, p. 84–89, 2008.

SCHIEVENIN, D. F. et al. MONITORAMENTO DE INDICADORES DE UMA ÁREA DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL EM SOROCABA-SP. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, v. 19, p. 95–108, 2012.

STRAKA, P.; NÁHUNKOVÁ, J.; MARGIT, Z. Analysis of unburned carbon in industrial ashes from biomass combustion by thermogravimetric method using Boudouard reaction. **Thermochimica Acta**, v. 575, p. 188–194, 2014.

VASSILEV, S. V et al. Ash contents and ash-forming elements of biomass and their significance for solid biofuel combustion. **Fuel**, v. 208, p. 377–409, 2017.

ZHANG, H. et al. Biomass and Bioenergy Effect of feedstock and pyrolysis temperature on properties of biochar governing end use efficiency. **Biomass and Bioenergy**, v. 105, p. 136–146, 2017.

ZHANG, Z. et al. Experiments and modelling of potassium release behavior from tablet biomass ash for better recycling of ash as eco-friendly fertilizer. **Journal of Cleaner Production**, v. 170, p. 379–387, 2018.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que os resíduos gerados nas caldeiras de biomassa de indústrias madeireiras apresentam potencial de utilização para melhorar as condições de solo no pré-plantio. O eucalipto e o trigo apresentaram respostas positivas à adição das cinzas. Embora o eucalipto tenha sofrido influências externas no seu desenvolvimento em campo, foi possível estabelecer uma relação de similaridade entre o seu desenvolvimento no solo com calcário e com cinzas. O pH foi alterado em todos os tratamentos estabelecidos e, desta forma, os solos ácidos puderam ser neutralizados com a presença das cinzas. Neste estudo implantado em campo foi utilizado o resíduo de uma caldeira de uma empresa específica. Com as análises das cinzas obtidas de resíduos de empresas distintas (capítulo 2) foi possível verificar que a composição das cinzas estudadas não apresentou alteração, entretanto a quantidade dos componentes encontrados foi visivelmente distinta. Tal resultado evidencia a necessidade de análises prévias do material que se deseja inserir no solo para que a quantidade aplicada seja suficiente para resultar em impactos positivos, sem que haja desperdício ou escassez de material.

REFERÊNCIAS

- AARD. **Beneficial management practices - Environmental manual for crops producers in Alberta**. 2004. Disponível em: <https://open.alberta.ca/publications/3033430>. Acesso em 10 de setembro de 2019.
- BELLOTE, A. F. J.; NEVES, E. J. M. **Calagem e Adubação em Espécies Florestais Plantadas na Propriedade Rural Circular técnica 54**. 2001, 15p. Disponível em: eneves@cnpf.embrapa.br. Acesso em 20 de janeiro de 2018.
- BRASIL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Brasília. 2008.
- BRASIL. RESOLUÇÃO No 420, DE 28 DE DEZEMBRO DE 2009. Publicado no DOU nº 249, de 30/12/2009, p. 81-84. 2009.
- BRASIL. **Balanco Energético nacional**. Rio de Janeiro. 2014.
- BRUN, E. J. **Calagem, adubação de base, de plantio e de cobertura**. Dois Vizinhos.
- CACURO, T. A.; WALDMAN, W. R. Fly-Ash from Biomass Burning: Applications and Potentialities. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 6, p. 2154–2165, 2015.
- CAIRES, E. F.; ROSOLEM, C. A. Correção Da Acidez Do Solo E Desenvolvimento Do Sistema Radicular Do Amendoim Em Função Da Calagem. **Bragantia**, v. 57, n. 1, p. 172–184, 1998.
- CARDOSO, E. L.; FERNANDES, A. H. B. M.; FERNANDES, F. A. **Análise de Solos: Finalidade e Procedimentos de Amostragem Comunicado técnico- Embrapa**. 2009. Disponível em: http://www.cpap.embrapa.br/publicacoes/download.php?arq_pdf=COT79.
- CARRIER, M. et al. Production of char from vacuum pyrolysis of South-African sugar cane bagasse and its characterization as activated carbon and biochar. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 96, p. 24–32, jul. 2012.
- CATANI, R. A.; ALONSO, O. **Avaliação da exigência de calcário do solo**. Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. **Anais...**1969. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0071-12761969000100013&lng=pt&tlng=pt
- CELESTRINO, T. S. et al. Management of boron fertilization in eucalyptus cultivated in the low altitude Cerrado region in Entisol. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 14, n. 2, p. 1–9, 30 jun. 2019.
- DEBONI, T. L. et al. Evolution of the quality of forest biomass for energy generation in a cogeneration plant. **Renewable Energy**, v. 135, p. 1291–1302, 2019.

ELI, E. F. et al. Assessing the growth gaps of Eucalyptus plantations in Brazil – Magnitudes, causes and possible mitigation strategies. **Forest Ecology and Management**, v. 451, p. 1-12. 2019

ENPLUS. **Manual ENplus® Parte 3: Requisitos de Qualidade do Pellet**. Brussels, Belgium. 2015.

EUFRADE-JUNIOR, H. DE J. et al. Management of Eucalyptus short-rotation coppice and its outcome on fuel quality. **Renewable Energy**, v. 121, p. 309–314, jun. 2018.

GÍRIO, F. Innovation on Bioenergy. In: **The Role of Bioenergy in the Bioeconomy**. Elsevier, 2019. p. 405–433.

GONÇALVES, J. et al. Assessing the effects of early silvicultural management on long-term site productivity of fast-growing eucalypt plantations: the Brazilian experience. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, v. 70, n. 2, p. 105–118, ago. 2008.

GONÇALVES, J. LEONARDO DE M. **Recomendações de Adubação para Eucalyptus , Pinus e Espécies Típicas da Mata Atlântica**. Piracicaba. 1995.

HANSTED, A. L. S. et al. Use of a lignocellulosic residue as solid fuel: The effect of ash content in the energy potential. **Industrial Crops and Products**, v. 116, n. July 2017, p. 209–214, jun. 2018.

HIGA, R. C. V; MORA, A. L.; HIGA, A. R. **Plantio de Eucalipto na Pequena Propriedade Rural Embrapa Florestas**. 2000.

IBA. **RELATÓRIO 2019**. Indústria brasileira de árvores. 2019. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>. Acesso em 10 de janeiro de 2018.

HAN, L et al. Biochar's stability and effect on the content, composition and turnover of soil organic carbon. **Geoderma**, v 364, p. 114-184. 2020

JOSEPH, S. et al. Microstructural and associated chemical changes during the composting of a high temperature biochar: Mechanisms for nitrate, phosphate and other nutrient retention and release. **Science of The Total Environment**, v. 618, p. 1210–1223, mar. 2018.

KASPERBAUER, T. J. The permissibility of nudging for sustainable energy consumption. **Energy Policy**, v. 111, n. March, p. 52–57, dez. 2017.

KIM, H.-S. et al. Effect of biochar on heavy metal immobilization and uptake by lettuce (*Lactuca sativa* L.) in agricultural soil. **Environmental Earth Sciences**, v. 74, n. 2, p. 1249–1259, 7 jul. 2015.

LEHMANN, J. **A Future for Biochar in Vermont? UVM and Vermont's Biochar**

Project. **Anais...**2010

LOZANO-MORENO, J. A.; MARÉCHAL, F. Biomass logistics and environmental impact modelling for sugar-ethanol production. **Journal of Cleaner Production**, v. 210, p. 317–324, fev. 2019.

MARTIN, C. Eficiência energética. **O papel**, p. 32–38, 2013.

MARTINS, L. G. C. **Método de recomendação de adubação para eucalipto com base no monitoramento nutricional**. Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Viçosa, 2004.

MARTINS, R. J.; SEIXAS, F.; STAPE, J. L. Avaliação técnica e econômica de um harvester trabalhando em diferentes condições de espaçamento e arranjo de plantio em povoamento de eucalipto. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, v. 37, n. 83, p. 253–263, 2009.

MIRANDA, DI. L. C. et al. Crescimento de híbridos de eucalipto no estado de Mato Grosso. **Advances in Forestry Science**, v. 6, n. 2, p. 617–621, 24 jul. 2019.

MOULIN, J. C. et al. Efeito do Espaçamento, Idade e Irrigação no Volume e Densidade Básica do Eucalipto. **Floresta e Ambiente**, v. 24, n. 0, p. 1–10, 13 jul. 2017.

NAKASHIMA, G. T. et al. Lignocellulosic Materials: Characterization and Production of Briquettes. **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 1, p. 150–162, 2017.

NAVALTA, C. J. L. G. et al. Solid fuel from Co-briquetting of sugarcane bagasse and rice bran. **Renewable Energy**, v. 147, p. 1941–1958, mar. 2020.

Norma Reguladora **NR 13**: caldeiras e vasos de pressão, 1996.

OLIVEIRA NETO, S. N. DE et al. Produção e distribuição de biomassa em *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. em resposta à adubação e ao espaçamento. **Revista Árvore**, v. 27, n. 1, p. 15–23, fev. 2003.

PIRES, I. C. S. A. et al. Biochar de Palha de Cana-de-Açúcar : Caracterização e Estudo do Processo. **Revista Virtual de Química**, v. 10, n. 4, 2018.

ROCHA, J. H. T.; DU TOIT, B.; GONÇALVES, J. L. D. M. Ca and Mg nutrition and its application in *Eucalyptus* and *Pinus* plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 442, n. January, p. 63–78, jun. 2019.

SALGADO, B. G. et al. Avaliação da fertilidade dos solos de sistemas agroflorestais com cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em Lavras-MG. **Revista Árvore**, v. 30, n. 3, p. 343–349, jun. 2006.

SANTOS, H. L.; VASCONCELLOS, C. A. Determinação do número de amostras de solo para análise química em diferentes condições de manejo. **Revista Brasileira**

de Ciencia do Solo, v. 11, n. 3, p. 97–100, 1987.

SBCS. **O desafio de definir solos contaminados no Brasil valores de referência**. Viçosa. 2013. Disponível em: https://www.sbcs.org.br/wp-content/uploads/2013/05/boletim_sbcs_I_2013_otimizado.pdf. Acesso em 10 de janeiro de 2018.

SETTE JR., C. R. et al. Energy enhancement of the eucalyptus bark by briquette production. **Industrial Crops and Products**, v. 122, n. May, p. 209–213, out. 2018.

SILVA, R. W. **Biocarvões de palha de café e casca de eucalipto produzidos a 350 e 600 °C como condicionadores do solo**. Dissertação (mestrado) Universidade Federal do Espírito Santo, 2017.

SIMÕES, J. W. et al. Adubação mineral na formação de mudas de Eucalipto. **IPEF**, v. 3, n. 2, p. 35–49, 1971.

SIPPULA, O. et al. Emissions from a fast-pyrolysis bio-oil fired boiler: Comparison of health-related characteristics of emissions from bio-oil, fossil oil and wood. **Environmental Pollution**, v. 248, p. 888–897, maio 2019.

SOARES, M. T. S. et al. **Resposta inicial do eucalipto após aplicação de dejetos líquidos de suínos no oeste do Paraná**. VI SIGER. **Anais...**2019

SOARES, T. S. et al. USO DA BIOMASSA FLORESTAL NA GERAÇÃO DE ENERGIA. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, n. 8, p. 1–9, 2006.

STICH, J. et al. Techno-economic estimation of the power generation potential from biomass residues in Southeast Asia. **Energy**, v. 135, p. 930–942, set. 2017.

STRZALKA, R.; SCHNEIDER, D.; EICKER, U. Current status of bioenergy technologies in Germany. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 72, n. January, p. 801–820, maio 2017.

TATAGIBA, S. D. et al. Determinação da máxima capacidade de retenção de água no substrato para produção de mudas de eucalipto em viveiro. **Floresta**, v. 45, n. 4, p. 745, 24 set. 2015.

THENGANE, S. K.; GUPTA, A.; MAHAJANI, S. M. Co-gasification of high ash biomass and high ash coal in downdraft gasifier. **Bioresource Technology**, v. 273, n. October 2018, p. 159–168, fev. 2019.

TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. **Novos Estudos - CEBRAP**, n. 79, p. 47–69, nov. 2007.

VALGINHAK, D. A.; SANTA, H. S. D. Potencial de utilização de resíduos da indústria papeleira como substratos para cultivo de *Ganoderma lucidum* (Reishi). **Revista Agrogeoambiental**, v. 10, n. 3, p. 9–24, 21 nov. 2018.

VEGRO, C. L. R.; CARVALHO, F. C. Disponibilidade e utilização de resíduos gerados no processamento agroindustrial do café. **Informações Econômicas**, v. 24, n. 1, p. 9–16, 1994.

VEIGA, T. REGINA L. A. **Síntese e caracterização de biocarvões de biomassa de casca de café e de madeiras de eucalipto**. Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Lavras, 2016.

VELOSO, C. A. C. et al. Efeito de diferentes materiais no pH do solo. **Scientia Agricola**, v. 49, p. 123–128, 1992.

VOSHELL, S.; MÄKELÄ, M.; DAHL, O. A review of biomass ash properties towards treatment and recycling. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 96, n. July, p. 479–486, nov. 2018.

WANG, K. et al. Thermal energy storage tank sizing for biomass boiler heating systems using process dynamic simulation. **Energy and Buildings**, v. 175, p. 199–207, set. 2018.

WILCKEN, C. F. et al. **Guia Prático de Manejo de Plantações de Eucalipto** Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais- FEPAF. 2008.

ZHAO, H. et al. Variation in the nitrogen concentration of the leaf, branch, trunk, and root in vegetation in China. **Ecological Indicators**, v. 96, n. September 2018, p. 496–504, jan. 2019.