



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RENNAN GERALDO RUIVO

USOS DE CINZAS PROVENIENTES DA COMBUSTÃO DE BIOMASSA
FLORESTAL

CURITIBA

2022

RENNAN GERALDO RUIVO

USOS DE CINZAS PROVENIENTES DA COMBUSTÃO DE BIOMASSA
FLORESTAL

Artigo apresentado como requisito parcial à conclusão do curso de MBA em Gestão Ambiental, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Dr. Carlos Eduardo Silveira da Silva

CURITIBA

2022

Usos de cinzas provenientes da combustão de Biomassa Florestal

Rennan Geraldo Ruivo

RESUMO

O objetivo deste trabalho consistiu na realização de uma revisão de literatura destacando as potencialidades do uso de cinzas provenientes da combustão de biomassa florestal como insumo agrícola e matéria-prima para novos produtos. A crescente produção de cinzas de biomassa nos últimos anos, resultante de uma maior demanda de biomassa para fins energéticos, tem fomentado novas pesquisas no intuito de desenvolver aplicações inovadoras de cinzas de forma econômica e sustentável. O descarte das cinzas em aterros pode trazer um ônus financeiro considerável ao gerador. Com a ampliação da conscientização ambiental, aliada aos conceitos da Política Nacional de Resíduos Sólidos, a reinserção em processos produtivos de resíduos produzidos em grandes volumes se torna cada vez mais importante. As cinzas provenientes da combustão de biomassa apresentam muitas potencialidades para usos em diversos segmentos e atividades. Como insumo para a produção agroflorestal, podem ser utilizadas como fertilizante e corretivo de solos, proporcionando vários benefícios para as propriedades dos solos. Sua principal ação se dá através da elevação do pH e disponibilização de nutrientes para as plantas cultivadas. Em se tratando da utilização deste material como matéria-prima, o mesmo pode ser aplicado na fabricação de cimento, argamassa e outros materiais empregados na construção civil, podendo também ser aplicado na síntese de zeólitos, em processos anaeróbios de digestão de biogás como controlador tampão, bem como condicionador de lodo de esgoto.

Palavras-chave: Resíduos 1. Sustentabilidade 2. Biomateriais 3.

ABSTRACT

The objective of this research was to carry out a literature review highlighting the potential for using ash from the combustion of forest biomass as an agricultural input and raw material for new products. The growing production of ash from biomass in recent years, resulting from a greater demand of biomass for energy purposes, has fostered new research in order to develop innovative applications of ash in an economical and sustainable way. Disposal of ash in landfills can bring a considerable financial burden to the generator. With the growing environmental awareness, combined with the concepts of the PNRS, the reinsertion of waste produced in large volumes into productive processes becomes increasingly important. The ash from the biomass combustion has many potentials for uses in different segments and activities.

As an input for agroforestry production, they can be used as a fertilizer and soil corrector, providing several benefits for soil properties. Its main action is through the pH elevation and the availability of nutrients for cultivated plants. When it comes to the use of this material as a raw material, it can be applied in the manufacture of cement, mortar and other materials used in civil construction, and can also be applied in the synthesis of zeolites, in anaerobic processes of biogas digestion as a buffer controller, as well as sewage sludge conditioner.

Keywords: Waste 1. Sustainability 2. Biomaterials 3.

1 INTRODUÇÃO

O interesse global relacionado ao uso de fontes de energia renováveis é crescente e visa reduzir a dependência dos combustíveis fósseis, diversificando a matriz energética e consequentemente minimizando os impactos ambientais inerentes às atividades necessárias para obtenção de energia.

As fontes renováveis ocupam o quarto lugar na demanda total mundial de energia depois de petróleo, carvão e gás natural (HUANG et al., 2020; GUO et al., 2020). A biomassa lignocelulósica é considerada um material renovável, alternativo e potencial fonte de energia para a sociedade (WELFLE et al., 2020). A biomassa é o tipo de fonte renovável mais significativo devido às vantagens de possuir distintas origens, ser sustentável e ecologicamente correta, atraindo cada vez mais o interesse de setores acadêmicos e industriais (WORLD BIOENERGY ASSOCIATION, 2019).

Com o constante desenvolvimento global das atividades econômicas, em contraste com a elevação da preocupação com as questões ambientais e a destinação adequada dos resíduos gerados, é um desafio para as partes envolvidas viabilizar a disposição correta destes, reduzindo os impactos ambientais sem que isto represente um ônus econômico para os geradores. Neste contexto, uma das estratégias de alocação dos resíduos sólidos consiste na utilização destes como insumos para a agricultura, em que há a comprovação da eficiência como corretivo de acidez e fertilizante do solo (FONSECA et al., 2012).

A cinza de biomassa é um dos resíduos gerados em larga escala nas indústrias, proveniente da combustão de biomassa florestal e vem sendo estudada quanto ao seu potencial de aplicação no manejo agrícola (FONSECA & HANISCH, 2018) e em outros segmentos industriais na forma de matéria-prima.

Com base nisto, esse trabalho teve por objetivo identificar as potencialidades do uso de cinzas provenientes da combustão de biomassa florestal como insumo agrícola e matéria-prima para novos produtos.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 BIOMASSA FLORESTAL

A biomassa vegetal pode ser definida como toda a fração biodegradável contida em produtos, resíduos ou detritos de origem biológica advindos das atividades agrícolas, de atividades florestais, industriais e resíduos industriais e urbanos (UE, 2009). Ela pode ainda ser caracterizada como toda a matéria orgânica que pode ser transformada em energia térmica, mecânica ou elétrica, podendo ser classificada em três grupos: (1) biomassa energética florestal; (2) biomassa energética agrícola; e (3) rejeitos urbanos (SANTOS et al., 2017).

Portanto, entendem-se como fontes de biomassa os vegetais lenhosos (madeiras), vegetais não-lenhosos (amiláceos, aquáticos, sacarídeos e celulósicos), resíduos orgânicos (agrícolas, industriais e urbanos), além de biofluidos como os óleos vegetais (WILLIAMS et al., 2015).

Dentre as formas de biomassa supracitadas, inserem-se as lignocelulósicas, onde destaca-se a biomassa florestal, a qual se divide em três grandes grupos: (a) material gerado da colheita florestal (raízes, tocos, folhas e galhos); (b) resíduos do processamento da madeira (serragem, aparas, cepilhos); e (c) a madeira advinda de florestas energéticas (SOUZA, 2010).

A biomassa florestal é considerada como um recurso renovável, de abundância relativamente alta, proveniente principalmente de operações florestais e atividades de manejo florestal, sendo um material altamente adequado para processamento termoquímico com vistas à produção de energia (SILVA et al., 2019).

2.2 PROCESSOS INDUSTRIAIS DE TRANSFORMAÇÃO DA BIOMASSA

No que se refere aos processos industriais que utilizam mais comumente a biomassa florestal como matéria-prima, podem se destacar o processamento industrial e o beneficiamento da madeira.

Um dos processos que ganham destaque no uso e geração de produtos, e conseqüentemente, resíduos da biomassa é a sua combustão. Também conhecido como conversão térmica da biomassa, é uma reconhecida forma para produção de energia e/ou produtos químicos a partir de fontes renováveis, reduzindo as emissões de dióxido de carbono (CO₂) fóssil. Quatro tecnologias de conversão termoquímica de biomassa foram desenvolvidas até o presente momento: pirólise, gaseificação, combustão direta e liquefação (TOSTI et al., 2015).

A porção correspondente ao teor de cinzas obtido através da combustão de vários tipos de biomassa, é considerada um tipo de resíduo da indústria, podendo possuir distintas composições e usos (ZAGVOZDA et al., 2018).

2.3 RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS

Compreendem-se como resíduos todos os materiais descartados provenientes de cadeias de produção e/ou consumo que devido a impedimentos tecnológicos ou mercadológicos não apresentem no momento, um valor de uso econômico, com potencial para ocasionar impactos ambientais negativos, caso sejam manejados de forma inadequada. São ainda materiais com elevado potencial para aproveitamento em novos processos e/ou produtos, não havendo a necessidade de destinação a aterros (NOLASCO & ULIANA, 2014).

A PNRS (Política Nacional de Resíduos Sólidos), define resíduo sólido como: “material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível” (BRASIL, 2010).

É importante ressaltar, dentro desse contexto, a consideração do conceito de subproduto, já que as empresas, especialmente as indústrias, vêm utilizando este termo em sua política e gestão ambiental como sinônimo de resíduo. Os subprodutos, são produtos secundários de um determinado sistema de produção, os quais possuem um valor de mercado e são passíveis de efetiva utilização e/ou comercialização (NOLASCO & ULIANA, 2014).

A indústria madeireira no Brasil apresenta um aproveitamento médio baixo, com um percentual de aproximadamente 40%, enquanto a fração restante se transforma em resíduos (BRAND, 2010). Estima-se que os resíduos florestais no Brasil no ano de 2019, representaram aproximadamente 19,14 milhões de metros cúbicos (FAO, 2020).

Os resíduos percorrem todo o processo produtivo, participando dos custos fixos da organização, mas não se tornam produtos, não agregando valor à produção e gerando despesas em relação ao seu armazenamento, tratamento e disposição final adequada (NOLASCO & ULIANA, 2014). Dessa forma, a pressão dos órgãos ambientais, o crescente desenvolvimento industrial, a preocupação ambiental com os resíduos gerados e a busca pela competitividade no mercado por meio de selos e certificações contribuem para a intensificação das pesquisas sobre o aproveitamento dos resíduos industriais (ANDRADE et al., 2016).

2.4 POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS - PNRS

Homologada através da lei federal 12.305/2010, a PNRS dispõe: “sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis” (BRASIL, 2010).

Para viabilizar a gestão adequada dos resíduos sólidos, que é um desafio encontrado no Brasil, esta lei institui diretrizes de gestão compartilhada, considerando possibilidades como a criação de consórcios que envolvam um grupo de municípios para o gerenciamento destes resíduos, envolvendo sobretudo, os municípios de menor porte (HEBER & SILVA, 2014; SANTIN et al., 2017; MAIELLO et al., 2018). Deste modo, a PNRS “reúne o conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotados pelo Governo Federal, isoladamente ou em regime de cooperação com estados, Distrito Federal, municípios ou particulares, com vistas à gestão integrada e ao gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos” (BRASIL, 2010).

A lei traz ainda a inclusão de três conceitos: redução, reutilização e reciclagem, visando a diminuição da utilização de matérias-primas virgens e a

retardação da disposição dos resíduos, que é a última fase da gestão sustentável destes (REIS et al., 2017).

A PNRS atribui responsabilidade dentre outros, às indústrias, estando estes geradores responsáveis pela adoção de técnicas para a realização da coleta, armazenamento e reutilização quando possível, bem como a destinação final adequada dos seus resíduos. Devem ainda promover formas de retorno dos resíduos junto à sua rede de comercialização e incentivar a reutilização aos seus consumidores, deixando-os cientes acerca de possíveis danos ambientais. A responsabilidade ainda se estende sobre a educação ambiental, com o objetivo de combate às práticas inadequadas (BRASIL, 2010).

Recentemente, através do decreto nº 11.043, de 13 de abril de 2022, foi instituído o PLANARES (Plano Nacional de Resíduos Sólidos), que representa a estratégia de longo prazo no âmbito nacional para a operacionalização das disposições legais, princípios, objetivos e diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos. O Plano se inicia com o diagnóstico da situação dos resíduos sólidos no país, seguido da proposição de alguns cenários, contemplando tendências nacionais, internacionais e macroeconômicas. E, baseando-se nas premissas consideradas nos capítulos iniciais, são propostos metas, diretrizes, projetos, programas e ações direcionados à consecução dos objetivos da lei para um horizonte de 20 anos (BRASIL, 2022).

2.5 CINZAS

As cinzas são geradas no processo de combustão da madeira e seus derivados, como cavaco, serragem e cascas (SIDDIQUE, 2012). Caracterizam-se como resíduos sólidos, que são gerados em grande quantidade em caldeiras para a produção de energia e calor (SILVA et al., 2015; ŠTIRMER & CAREVIĆ, 2022).

A composição das cinzas é variável em função do material utilizado e dos parâmetros do processo de incineração, como temperatura, tempo de incineração e porcentagem de umidade no material incinerado, de modo que as cinzas se tornam materiais heterogêneos quanto à sua composição e morfologia (VASSILEV & VASSILEVA, 2007; SIDDIQUE, 2012; CACURO & WALDMAN, 2015; MASCHOWSKI et al., 2019).

Elas apresentam alguns componentes principais em sua estrutura, sendo dois deles de formato esférico (silicatos e cenosferas) e um com formato irregular (carbonáceos). Os silicatos são compostos por dióxido de silício (SiO_2), as cenosferas são compostas por uma mistura de óxidos metálicos, já os carbonáceos são remanescentes da queima incompleta e que podem estar presentes no material quando queimado em escala comercial (HANSTED et al., 2018).

Atualmente as cinzas de biomassa são subutilizadas na União Europeia, considerando que a destinação é realizada principalmente para aterros (MARESCA et al., 2017; PESONEN et al., 2017), acarretando em custos adicionais e riscos ao meio ambiente (ŠTIRMER & CAREVIĆ, 2022). Portanto, em contrapartida a esta realidade, vêm sendo realizados estudos com o objetivo de encontrar valor agregado econômico e ambiental neste material, considerando-o como potencial nova matéria-prima na indústria da construção (CAREVIĆ et al., 2021).

2.5.1 Potenciais usos e aplicações

Um dos principais parâmetros que determinam a maneira como as cinzas podem ser utilizadas é sua composição química. Os elementos predominantemente encontrados nas cinzas são o cálcio (Ca), potássio (K), fósforo (P) e enxofre (S), enquanto alguns elementos tóxicos ocasionalmente encontrados, ocorrem em pequenas concentrações, o que viabiliza a sua utilização agrícola. Além disso, as cinzas obtidas da biomassa possuem um potencial para o enriquecimento do solo com micronutrientes, como zinco (Zn), cobre (Cu) e manganês (Mn), o que corrobora o uso de cinzas como fertilizantes (WIERZBOWSKA et al., 2020).

Duas das possíveis aplicações das cinzas de biomassa são: (1) utilização em solos agrícolas e florestais para fins de fertilização e calagem; e (2) incorporação em produtos de construção como material cimentício secundário e matéria-prima para produção de clínquer de cimento (SCHIEMENZ et al., 2011; SIDDIQUE, 2012; LAMERS et al., 2018; MASCHOWSKI et al., 2020). Podem ainda ser utilizadas ocasionalmente na síntese e produção de minerais, cerâmica e outros materiais (VASSILEV, et al., 2013), como controlador tampão de pH em processos anaeróbios de digestão para produção de biogás (NOVAIS et al., 2018) ou como condicionador de lodo de esgoto (WIERZBOWSKA et al., 2020).

2.5.2 Condicionador de solos

Cinzas de biomassa são materiais cuja composição contém significativos teores de macronutrientes, além de uma relevante capacidade de calagem do solo, podendo ser recicladas para os solos, contribuindo desta forma na integração do processo biomassa-energia e uma produção sustentável de energia (SILVA et al., 2019). Em estudos com sua aplicação também foi evidenciado o enriquecimento com micronutrientes (WIERZBOWSKA et al., 2020), além da elevação da condutividade elétrica e da atividade desidrogenase do solo (QUIRANTES et al., 2016).

A cinza de madeira é potencialmente um notável fertilizante do solo que está ganhando ampla aceitação como uma alternativa ao emprego de fertilizantes químicos (RHOMDHANE et al., 2021). Em decorrência do seu efeito de calagem, a cinza de madeira também pode substituir produtos de cal no controle da acidificação do solo (CRUZ-PAREDES et al., 2017a), elevando o pH e aumentando a disponibilidade de alguns nutrientes (ONDRASEK et al., 2021). A aplicação de cinzas de biomassa no solo pode economizar nutrientes minerais devido aos seus teores relativamente altos de cálcio (Ca), potássio (K) e fósforo (P) (OCHECOVÁ et al., 2017).

3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do presente trabalho, a metodologia baseou-se na coleta de dados na literatura por meio de uma pesquisa descritiva, na qual foram consultados preferencialmente artigos, bem como revistas científicas, livros e trabalhos acadêmicos.

É importante destacar que a revisão da literatura é o processo de busca, análise e descrição de um corpo do conhecimento buscando encontrar a resposta a uma pergunta específica. O termo “literatura” leva em consideração todo o material relevante que é escrito sobre um determinado tema: livros, artigos de periódicos, artigos de jornais, registros históricos, relatórios governamentais, teses e dissertações e outros tipos.

Inserido no conceito de revisão de literatura, a pesquisa descritiva é realizada no intuito de investigar e descrever objetos e sujeitos em um determinado ambiente ou contexto, para a realização de um estudo, sem a interferência de quem está pesquisando. Trata-se de um processo planejado e estruturado, com a utilização de

técnicas específicas na coleta de dados, como entrevistas, questionários, formulários, enquetes, e observação sistemática. Desta forma, foram priorizadas nesta pesquisa a coleta de dados sobre o tema em referências bibliográficas nacionais e internacionais com menos de dez (10) anos de publicação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 USOS E APLICAÇÕES DE CINZAS

Como mencionado no item de usos e aplicações deste trabalho (item 2.6.1), as cinzas oriundas de biomassa vegetal possuem diversas aplicações. Este item abordará estas possíveis aplicações com maior detalhamento, discutindo sua aplicabilidade em distintos segmentos industriais.

É importante considerar que as aplicações deste material, de acordo com Štirmer & Carević (2022), dependem significativamente das suas propriedades, que por sua vez são influenciadas principalmente pelas especificidades da biomassa utilizada, avaliando-se, o tipo de biomassa, a tecnologia utilizada, a temperatura adotada na combustão e o local de coleta dela, bem como seu armazenamento.

As cinzas também podem ser incorporadas em materiais aplicados à construção. Cabrera et al. (2020), destacam em seu estudo uma real possibilidade de utilização das cinzas de biomassa em materiais à base de cimento para aplicação na engenharia civil. Na mesma perspectiva, Mirzaei et al. (2015) e Štirmer & Carević (2022), constataram diferenças pouco significativas entre as propriedades mecânicas das formulações de concreto com cinzas de biomassa e o concreto tradicional, observando, no entanto, que as formulações de concreto contendo biomassa absorvem mais água e compactam menos do que o concreto normal.

Outra aplicação das cinzas é o seu emprego na síntese e produção de minerais, cerâmica e outros materiais. Eliche-Quesada & Felipe (2017), consideram que tijolos cozidos com a adição de cinzas atendem aos requisitos para unidades de alvenaria de argila, oferecendo propriedades mecânicas adequadas. Corroborando esta consideração, Kizinievic & Kizinievic (2016), também concluem que as cinzas como aditivo da argila influenciam nas propriedades do corpo cerâmico, trazendo como principal benefício a redução da retração por secagem e queima.

Um grupo de minerais que pode ser sintetizado através de cinzas de biomassa são os zeólitos (LI et al., 2019; LIANG et al., 2021). Os zeólitos, zeólitas ou zeolites constituem um grupo numeroso de minerais que possuem uma estrutura porosa, alta superfície e estabilidade térmica. Estes minerais são usados como absorventes e suporte para sintetizar catalisadores (LI et al., 2019; LIANG et al., 2021). Os zeólitos também podem ser utilizados em tratamentos farmacêuticos e biomedicina (KHOEJAEWA et al., 2019; SERVATAN et al., 2020).

Ademais, as cinzas podem ainda ser utilizadas como controlador tampão em processos anaeróbios de digestão para produção de biogás. Segundo Abelenda & Aiouache (2022), existem várias possibilidades para empregar este material como aditivo para o processo de digestão anaeróbica. Complementando esta afirmação, Alavi-Borazjani et al. (2020), analisaram em seu estudo que a utilização de cinzas de biomassa na tecnologia de digestão anaeróbica, como um aditivo para otimização do processo produtivo de biogás ou como adsorvente para purificação de biogás, sendo uma solução promissora para a valorização desse resíduo de abundância elevada, proveniente de processos energéticos que utilizam biomassa.

Outra aplicação também estudada das cinzas é como condicionador de lodo de esgoto. Em estudo de Wójcik et al. (2020), houve a constatação de que a mistura das cinzas melhorou a desidratação do lodo de esgoto em 15 a 27% em escala técnica, reduzindo os custos de desidratação, além de reduzir o número total de bactérias em 40 a 53%. Adicionalmente, consideraram que a mistura obtida de lodo de esgoto e cinzas de biomassa de madeira pode ser aplicada em culturas agrícolas, sobretudo na fertilização de plantações de espécies perenes. Antonkiewicz et al. (2020), confirmaram esta asseveração em sua pesquisa, na qual a mistura, especialmente na dosagem de $50 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$, foi a que apresentou melhor resultado em relação ao desenvolvimento das gramíneas e leguminosas que foram plantadas na área de estudo.

A forma de utilização deste resíduo que tem sido mais difundida e pesquisada é seu uso como fertilizante e corretor de solos.

4.2 EFICIÊNCIA COMO CONDICIONADOR DE SOLOS

Qin et al. (2017), indicam que as cinzas, devido ao seu pH alcalino, podem ser utilizadas como material de calagem do solo. Ratificando esta afirmação,

Quirantes et al. (2016), concluíram que a cinza de biomassa foi capaz de elevar consideravelmente o pH do solo, sua condutividade elétrica e a atividade da desidrogenase.

Wierzbowska et al. (2020), constataram em seu experimento que a aplicação de uma dosagem adequada de cinzas de biomassa pode melhorar as propriedades químicas do solo, incluindo seu pH, aumentar o teor de formas de macro e micronutrientes disponíveis para as plantas e reduzir a concentração de formas móveis de metais pesados, como chumbo (Pb) e cádmio (Cd). Assim, as cinzas poderiam ser aplicadas em substituição a fertilizantes de fósforo (P), potássio (K) e magnésio (Mg). Ochecová et al. (2014) e Sirikare et al. (2015), ratificam esta ideia, indicando que o enriquecimento do solo com cinzas de madeira resulta em maiores concentrações nutricionais tanto no solo quanto nas plantas, enquanto a elevação do pH do solo inibe a mobilidade de elementos potencialmente tóxicos e limita a absorção destes pelas plantas.

Conforme a pesquisa de Ondrasek et al. (2021), as correções com cinzas de biomassa elevaram a acidez do solo e aumentaram consideravelmente a disponibilidade não somente de fósforo (P), como também de potássio (K) e outros nutrientes essenciais.

Santos (2012), considera que a aplicação de cinza vegetal aumenta a produtividade, minimiza os efeitos poluentes e ainda se torna uma maneira de restituir parte dos nutrientes que inevitavelmente são exportados dos solos com as culturas agrícolas, contribuindo para a redução do uso de fertilizantes comerciais.

Segundo Cruz-Paredes et al. (2017b), a utilização de cinzas de biomassa como fertilizante pode ser uma estratégia sustentável para a manutenção da disponibilidade de fósforo em solos agrícolas. Schiemenz et al. (2011), concluíram que as cinzas de biomassa podem ser uma fonte adequada de fósforo (P), comparável à de fertilizantes comerciais, onde este elemento químico é encontrado em forma altamente solúvel. Atestando esta comprovação, Pasquali et al. (2018), consideram que existem perspectivas de economia de energia e redução da emissão de dióxido de carbono (CO₂) utilizando cinzas de madeira estabilizadas, substituindo fertilizantes de fósforo (P) comerciais.

A cinza lenhosa pode ser explorada lucrativamente para a correção do solo no cultivo de milho, melhorando o crescimento e reduzindo a sensibilidade à seca. Os autores ressaltam que foram encontradas frações significativas de macro e

micronutrientes, como potássio (K), fósforo (P), enxofre (S), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e cobre (Cu). No entanto, nesta mesma pesquisa foi feita uma ressalva em relação à capacidade de calagem do material, mencionando que esta depende de alguns fatores como a metodologia de aplicação, quantidade e qualidade do corretivo, que inclui o valor neutralizante, dimensão das partículas e dureza, que afetam as taxas de dissolução (ROMDHANE et al., 2021).

O enriquecimento de solos com cinzas provenientes da combustão de madeira relaciona-se com o objetivo de reutilização proposto pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Nessa prática, ocorre a utilização dos resíduos de um processo produtivo anterior, com o intuito de reduzir a utilização de matérias-primas virgens e conseqüentemente reduzir a disposição de resíduos.

A economia circular está bastante em voga nos dias atuais devido à crescente preocupação com as questões relacionadas aos impactos sobre o meio ambiente. Tomando como base este cenário, a utilização das cinzas de biomassa, que nada mais são do que resíduos de alguns processos produtivos, possibilita a reinserção do material no ciclo sem que haja a interrupção, gerando valor ao resíduo e preservando fontes primárias de obtenção de fertilizantes. Corroborando esta análise, Cabrera et al. (2020), consideram que a utilização destas cinzas, promove um modelo de economia circular no qual são aproveitados os resíduos da geração de energia a partir da biomassa, reduzindo ou eliminando a sua deposição em aterros. Alavi-Borazjani et al. (2020), na mesma linha, concluem que na busca da economia circular, o uso de cinzas advindas da biomassa pode ter uma grande contribuição para a solução de problemas relacionados ao descarte de cinzas e, promovendo ainda a valorização dos resíduos.

Com relação à temática da utilização das cinzas, abordada neste trabalho, entende-se e recomenda-se que sejam realizados mais estudos direcionados à compreensão específica sobre a forma como os fatores envolvidos no processo produtivo influenciam na qualidade das cinzas, bem como a influência de cada um destes. Os principais fatores que podem ser estudados são relacionados a sua origem (tipo de biomassa), processo de produção (tipo e forma de combustão, etc.) e a composição elementar, assim como o desempenho das cinzas em distintas aplicações em segmentos industriais.

5 CONCLUSÕES

As cinzas provenientes da combustão de biomassa apresentam muitas potencialidades para usos em diversos segmentos e atividades. Como insumo para a produção agroflorestal, agem como fertilizante e corretivo de solos, proporcionando vários benefícios para as propriedades dos solos. Sua principal ação se dá através da elevação do pH e disponibilização de nutrientes para as plantas cultivadas.

Em se tratando da utilização deste material como matéria-prima, o mesmo pode ser aplicado na fabricação de cimento, argamassa e outros materiais empregados na construção civil, podendo também ser aplicado na síntese de zeolitos, em processos anaeróbios de digestão de biogás como controlador tampão, bem como condicionador de lodo de esgoto.

Analisando criticamente o tema, é possível concluir que a nível global houveram avanços em relação a pesquisas e estratégias para reutilização de resíduos, sobretudo nas duas últimas décadas, com a elevação substancial do número de estudos e pesquisas. Especificamente em relação ao Brasil, ainda existem maiores desafios e oportunidades que seguramente devem ser exploradas pelos pesquisadores, contudo, tivemos alguns avanços na publicação das legislações, como a Política Nacional de Resíduos Sólidos (2010) e mais recentemente do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (2022), que trazem diretrizes específicas sobre os resíduos e os atores envolvidos no processo.

REFERÊNCIAS

ABELEND, A. M.; AIOUACHE, F. Wood Ash Based Treatment of Anaerobic Digestate: State-of-the-Art and Possibilities. **Processes**, v. 10, n. 1, p. 147, 2022.

ALAVI-BORAZJANI, S. A.; CAPELA, I.; TARELHO, L. A. C. Valorization of biomass ash in biogas technology: Opportunities and challenges. **Energy Reports**, v. 6, p. 472-476, 2020.

ANTONKIEWICZ, J.; POPLAWSKA, A.; KOŁODZIEJ, B.; CIARKOWSKA, K.; GAMBUŚ, F.; BRYK, M.; BABULA, J. Application of ash and municipal sewage sludge as macronutrient sources in sustainable plant biomass production. **Journal of environmental management**, v. 264, p. 110450, 2020.

ANDRADE, C.; MYNRINE, V.; SILVA, D. A.; MAYER, S. L. S.; SIMETTI, R.; MARCHIORI, F. Compósito para a construção civil a partir de resíduos industriais. **Matéria**, v. 21, p. 321-329, 2016.

BRAND, M. A. **Energia de Biomassa Florestal**. Rio de Janeiro: Interciência. 114 p., 2010.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 147, 3 ago. 2010. Seção 1, p. 1.

BRASIL. Decreto-lei nº 11.043, de 13 de abril de 2022. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, n. 72, p. 2, 14 abr. 2022. Seção 1, pt. 1.

CABRERA, M.; DÍAZ-LÓPEZ, J. L.; AGRELA, F.; ROSALES, J. Eco-efficient cement-based materials using biomass bottom ash: A review. **Applied Sciences**, v. 10, n. 22, p. 8026, 2020.

CACURO, T. A.; WALDMAN, W. R. Cinzas da queima de biomassa: aplicações e potencialidades. **Revista virtual de Química**, v. 7, n. 6, p. 2154-2165, 2015.

CAREVIĆ, I.; ŠTIRMER, N.; SERDAR, M.; UKRAINCZYK, N. Effect of wood biomass ash storage on the properties of cement composites. **Materials**, v. 14, n. 7, p. 1632, 2021.

CRUZ-PAREDES, C.; WALLANDER, H.; KJØLLER, R.; ROUSK, J. Using community

trait-distributions to assign microbial responses to pH changes and Cd in forest soils treated with wood ash. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 112, p. 153-164, 2017a.

CRUZ-PAREDES, C.; LÓPEZ-GARCÍA, Á.; RUBÆK, G. H.; HOVMAND, M. F.; SØRENSEN, P.; KJØLLER, R. Risk assessment of replacing conventional P fertilizers with biomass ash: Residual effects on plant yield, nutrition, cadmium accumulation and mycorrhizal status. **Science of the Total Environment**, v. 575, p. 1168-1176, 2017b.

ELICHE-QUESADA, D.; FELIPE, M. **Evaluation of Fly and Bottom Ash of Different Biomass Combustion as Raw Materials in Clay-Based Ceramics**. In: Ceramic Materials: Synthesis, Performance and Applications, p 1-32, 2017.

FONSECA, J. A.; HANISCH, A. L.; BACKES, R. L.; GISLON, I. Evolução de características químicas de um Latossolo Vermelho Distrófico típico até o quinto ano após aplicação de resíduos da indústria de celulose. **Revista Agropecuária Catarinense**, v. 25, n. 3, p. 73-79, 2012.

FONSECA, J. A.; HANISCH, A. L. Cinza de biomassa é um produto eficiente para uso em sistema de produção de cereais em base agroecológica?. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 17, n. 4, p. 454-461, 2018.

GUO, Z.; WU J.; ZHANG, Y.; WANG, F.; GUO, Y.; CHEN, K.; LIU, H. Characteristics of biomass charcoal briquettes and pollutant emission reduction for sulfur and nitrogen during combustion. **Fuel**, v. 272, p. 117632, 2020.

HANSTED, A. L. S.; CACURO, T. A.; NAKASHIMA, G. T.; COSTA, V. E.; YAMAMOTO, H.; YAMAJI, F. M. Use of a lignocellulosic residue as solid fuel: The effect of ash content in the energy potential. **Industrial Crops and Products**, v. 116, p. 209-214, 2018.

HEBER, F.; SILVA, E. M. Institucionalização da política nacional de resíduos sólidos: Dilemas e constrangimentos na região metropolitana de Aracaju (SE). **Revista de Administração Pública**, v. 48, p. 913-937, 2014.

HUANG, H.; LIU, J.; LIU, H.; EVRENDILEKB, F.; BUYUKADA, M. Pyrolysis of water hyacinth biomass parts: Bioenergy, gas emissions, and by-products using TG-FTIR and Py-GC/MS analyses. **Energy Conversion and Management**, v. 207, p. 112552, 2020.

KHOJAEWA, V.; LOPATIN, O.; ZELENIKHIN, P.; ILINSKAYA, O. Zeolites as Carriers of Antitumor Ribonuclease Binase. **Frontiers in Pharmacology**, v. 10, n. 442, 2019.

KIZINIEVIC, O.; KIZINIEVIC, V. Utilisation of wood ash from biomass for the production of ceramic products. **Construction and Building Materials**, v. 127, p. 264-273, 2016.

LAMERS, F.; CREMERS, M.; MATSCHEGG, D.; SCHMIDL, C.; HANNAM, K.; HAZLETT, P.; MADRALI, S.; DAM, B. P.; ROBERTO, R.; MAGER, R.; DAVIDSSON, K.; BECH, N.; FEUERBORN, H.; SARABER, A. **Options for increased utilization of ash from biomass combustion and co-firing**. In: IEA bioenergy task 32, 61p., 2018.

LI, Y.; LIANG, G.; CHANG, L.; ZI, C.; ZHANG, Y.; PENG, Z.; ZHAO, W. Conversion of biomass ash to different types of zeolites: a review. **Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects**, v. 43, n. 14, p. 1745-1758, 2019.

LIANG, G.; LI, Y.; YANG, C.; HU, X.; LI, Q.; ZHAO, W. Synthesis of ZSM-5 zeolites from biomass power plant ash for removal of ionic dyes from aqueous solution: equilibrium isotherm, kinetic and thermodynamic analysis. **RSC Advances**, v. 36, n. 11, p. 22365-22375, 2021.

MAIELLO, A.; BRITTO, A. L. N. P.; VALLE, T. F. Implementação da política nacional de resíduos sólidos. **Revista de Administração Pública**, v. 52, p. 24-51, 2018.

MARESCA, A.; HYKS, J.; ASTRUP, T. F. Recirculation of biomass ashes onto forest soils: ash composition, mineralogy and leaching properties. **Waste Management**, v. 70, p. 127-138, 2017.

MASCHOWSKI, C.; KRUSPAN, P.; ARIF, A. T.; GARRA, P.; TROUVÉ, G.; GIERÉ, R. Physicochemical and mineralogical characterization of biomass ash from different power plants in the Upper Rhine Region. **Fuel**, v. 258, p. 116020, 2019.

MASCHOWSKI, C.; KRUSPAN, P.; ARIF, A. T.; GARRA, P.; TROUVÉ, G.; GIERÉ, R. Use of biomass ash from different sources and processes in cement. **Journal of Sustainable Cement-Based Materials**, v. 9, n. 6, p. 350-370, 2020.

MIRZAEI, N. F.; FAR, R. E.; ABAS, N. F. Mechanical Properties of Concrete Containing Biomass Ash as cement Substitute. **Advances in Environmental Biology**, v. 9, n. 4, p. 177-180, 2015.

NOLASCO, A. M.; ULIANA, L. R. Gerenciamento de resíduos na indústria de pisos de madeira. **Projeto Piso de Madeira Sustentável-PIMADS**. ANPM. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2014.

NOVAIS, R. M.; GAMEIRO, T.; CARVALHEIRAS, J.; SEABRA, M. P.; TARELHO, L. A.; LABRINCHA, J. A.; CAPELA, I. High pH buffer capacity biomass fly ash-based geopolymer spheres to boost methane yield in anaerobic digestion. **Journal of Cleaner Production**, v. 178, p. 258-267, 2018.

OCHECOVÁ, P.; TLUSTOŠ, P.; SZAKOVA, J. Wheat and soil response to wood fly ash application in contaminated soils. **Agronomy Journal**, v. 106, n. 3, p. 995-1002, 2014.

OCHECOVÁ, P.; MERCL, F.; KOŠNÁŘ, Z.; TLUSTOŠ, P. Fertilization efficiency of wood ash pellets amended by gypsum and superphosphate in the ryegrass growth. **Plant, Soil and Environment**, v. 63, n. 2, p. 47-54, 2017.

ONDRASEK, G.; KRANJČEC, F.; FILIPOVIĆ, L.; FILIPOVIĆ, V.; KOVAČIĆ, M. B.; BADOVINAC, I. J.; PETER, R.; PETRAVIĆ, M.; MACAN, J.; RENGEL, Z. Biomass bottom ash & dolomite similarly ameliorate an acidic low-nutrient soil, improve phytonutrition and growth, but increase Cd accumulation in radish. **Science of The Total Environment**, v. 753, p. 141902, 2021.

PASQUALI, M.; ZANOLETTI, A.; BENASSI, L.; FEDERICI, S.; DEPERO, L. E.; BONTEMPI, E. Stabilized biomass ash as a sustainable substitute for commercial P-fertilizers. **Land Degradation & Development**, v. 29, n. 7, p. 2199-2207, 2018.

PESONEN, J.; KUOKKANEN, T.; RAUTIO, P.; LASSI, U. Bioavailability of nutrients and harmful elements in ash fertilizers: Effect of granulation. **Biomass and Bioenergy**, v. 100, p. 92-97, 2017.

QIN, J.; HOVMAND, M. F.; EKELUND, F.; RØNN, R.; CHRISTENSEN, S.; GROOT, G. A.; MORTENSEN, L. H.; SKOV, S.; KROGH, P. H. Wood ash application increases pH but does not harm the soil mesofauna. **Environmental pollution**, v. 224, p. 581-589, 2017.

QUIRANTES, M.; CALVO, F.; ROMERO, E.; NOGALES, R. Soil-nutrient availability affected by different biomass-ash applications. **Journal of soil science and plant nutrition**, v. 16, n. 1, p. 159-163, 2016.

REIS, D.; FRIEDE, R.; LOPES, F. H. P. Política nacional de resíduos sólidos (Lei no 12.305/2010) e educação ambiental. **Revista Interdisciplinar do Direito-Faculdade de Direito de Valença**, v. 14, n. 1, p. 99-111, 2017.

ROMDHANE, L.; EBINEZER, L. B.; PANOZZO, A.; BARION, G.; DAL CORTIVO, C.; RADHOUANE, L.; VAMERALI, T. Effects of soil amendment with wood ash on transpiration, growth, and metal uptake in two contrasting maize (*Zea mays* L.) hybrids to drought tolerance. **Frontiers in Plant Science**, p. 905, 2021.

SANTIN, J. R.; PEDRINI, M.; COMIRAN, R. A política nacional dos resíduos sólidos e os municípios brasileiros: desafios e possibilidades. **Revista de Direito da Cidade**, v. 9, n. 2, p. 556-580, 2017.

SANTOS, C. C. **Cinza vegetal como corretivo e fertilizante para os capins Marandu e Xaraés**. 2012. 127f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Universidade Federal de Mato Grosso, Rondonópolis, 2012.

SANTOS, G. H. F.; NASCIMENTO, R. S.; ALVES, G. M. Biomassa como energia renovável no Brasil. **Uningá Review**, v. 29, n. 2, 2017.

SERVATAN, M.; ZARRINTAJ, P.; MAHMODI, G.; KIM, S-J.; GANJALI, M. R.; SAEB, M. R.; MOZAFARI, M. Zeolites in drug delivery: Progress, challenges and opportunities. **Drug Delivery Today**, v. 25, n. 4, p. 642-656, 2020.

SCHIEMENZ, K.; KERN, J.; PAULSEN, H. M.; BACHMANN, S.; EICHLER-LÖBERMANN, B. Phosphorus fertilizing effects of biomass ashes. In: **Recycling of biomass ashes**. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 17-31, 2011.

SIDDIQUE, R. Utilization of wood ash in concrete manufacturing. **Resources, conservation and Recycling**, v. 67, p. 27-33, 2012.

SILVA, R. B.; FONTES, C. M. A.; LIMA, P. R. L.; GOMES, O. F. M.; LIMA, L. G.; MOURA, R. C. A.; TOLEDO FILHO, R. D. Cinzas de biomassa geradas na agroindústria do cacau: caracterização e uso em substituição ao cimento. **Ambiente Construído**, v. 15, p. 321-334, 2015.

SIRIKARE, N. S.; MARWA, E. M.; SEMU, E.; NARAMABUYE, F. X. Liming and sulfur amendments improve growth and yields of maize in Rubona Ultisol and Nyamifumba Oxisol. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science**, v. 65, n. 8, p. 713-722, 2015.

SOUZA, M. M. **Caracterização e viabilidade econômica do uso energético de resíduos da colheita florestal e do processamento de *Pinus taeda* L.** 77f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná,

Curitiba, 2010.

ŠTIRMER, Nina; CAREVIĆ, Ivana. Utilization of Wood Biomass Ash in Concrete Industry. In: **Biomass**. IntechOpen, 2022.

TOSTI, L.; ZOMEREN, A.; PELS, J. R.; DIJKSTRA, J. J.; COMANS, R. N. J. Assessment of biomass ash applications in soil and cement mortars. **Chemosphere**, v. 223, p. 425-437, 2019.

UE. Directiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do Conselho. Utilização de energia proveniente de fontes renováveis. **Jornal Oficial das Comunidades Europeias**, Bruxelas, v. 140, p. 16-62, 2009.

VASSILEV, S. V.; VASSILEVA, C. G. A new approach for the classification of coal fly ashes based on their origin, composition, properties, and behaviour. **Fuel**, v. 86, n. 10-11, p. 1490-1512, 2007.

VASSILEV, S. V.; BAXTER, D.; ANDERSEN, L. K.; VASSILEVA, C. G. An overview of the composition and application of biomass ash.: Part 2. Potential utilisation, technological and ecological advantages and challenges. **Fuel**, v. 105, p. 19-39, 2013.

WELFLE, A.; THORNLEY, P.; RÖDER, M. A review of the role of bioenergy modelling in renewable energy research & policy development. **Biomass and Bioenergy**, v. 136, p. 105542, 2020.

WIERZBOWSKA, J.; SIENKIEWICZ, S.; ŻARCZYŃSKI, P.; KRZEBIETKE, S. Environmental application of ash from incinerated biomass. **Agronomy**, v. 10, n. 4, p. 482, 2020.

WILLIAMS, C. L.; DAHIYA, A.; PORTER, P. Introduction to bioenergy. In: DAHIYA, A. (Ed.). **Bioenergy: Biomass to biofuels**. Academic Press, p. 5-36, 2015.

WÓJCIK, M.; STACHOWICZ, F.; MASŁOŃ, A. The use of wood biomass ash in sewage sludge treatment in terms of its agricultural utilization. **Waste and Biomass Valorization**, v. 11, n. 2, p. 753-768, 2020.

WORLD BIOENERGY ASSOCIATION. **Global Bioenergy Statistics 2019**. Stockholm, 2019.

ZAGVOZDA, M.; DIMTER, S.; RUKAVINA, T.; GRUBEŠA, I. N. Possibilities of bioash application in road building. **Grādevinar**, v. 70, n. 05., p. 393-402, 2018.