

Valorização de cinzas de fundo de caldeira através da produção de alcalinizante: uma proposta de economia circular

Boiler bottom ash appreciation through alkalizer production: a circular economy proposal

Valoración de las cenizas de fondo de caldera mediante la producción de alcalinizantes: una propuesta de economía circular

Recebido: 02/06/2022 | Revisado: 17/06/2022 | Aceito: 20/06/2022 | Publicado: 02/07/2022

Henrique Signor Backes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6153-3634>
Universidade de Passo Fundo, Brasil
E-mail: henriquesbackes@gmail.com

Marcelo Hemkemeier

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6541-4827>
Universidade de Passo Fundo, Brasil
E-mail: marceloh@upf.br

Gabriela Dalmora

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9813-934X>
Universidade de Passo Fundo, Brasil
E-mail: gabrielavdalmora@gmail.com

Sabrina Tonin

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0372-5712>
Universidade de Passo Fundo, Brasil
E-mail: sabri.tonin@gmail.com

Resumo

Os novos conceitos de Economia Circular (EC) e as mudanças na matriz energética mundial impulsionam o consumo de biomassa como uma fonte alternativa para a produção de energia. Neste contexto, o cavaco de eucalipto (*Eucalyptus*) é uma fonte de biomassa promissora. A queima desta biomassa produz como resíduo as cinzas, que precisam ser dispostas adequadamente ou valorizadas para diminuir os impactos ambientais e econômicos deste resíduo. Este artigo de revisão tem como objetivo discutir a valorização das cinzas de biomassa de caldeira industrial com foco na produção de alcalinizante. A valorização deste resíduo tem se dado de diferentes formas, sendo o uso das propriedades alcalinizantes para a correção de solos como a mais comum dentro das práticas industriais de gerenciamento de resíduos. Por um outro lado, a solubilização dos óxidos presentes nas cinzas e a utilização deste extrato como alcalinizante no tratamento de águas e efluentes pode ser uma alternativa aos alcalinizantes convencionais. Isto aumentaria as possibilidades de valorização das cinzas, diminuindo os impactos negativos dos processos de geração de energia. Os estudos e as condições para a produção do alcalinizante ainda não estão claras na literatura.

Palavras-chave: Caldeira industrial; Extrato alcalinizante; Cinzas pesadas.

Abstract

The new concepts of Circular Economy (EC) and changes in the world energy matrix drive the consumption of biomass as an alternative source for energy production. In this context, eucalyptus (*Eucalyptus*) chips are a promising source of biomass. The burning of this biomass produces ash residue, which needs to be disposed of properly or recovered to reduce the environmental and economic impacts of this residue. This review article aims to discuss the valorization of industrial boiler biomass ash with a focus on the production of alkalizing agent. The recovery of this residue has taken place in different ways, with the use of alkalizing properties for soil correction as the most common within industrial practices of waste management. On the other hand, the solubilization of the oxides present in the ash and the use of this extract as an alkalizing agent in the treatment of water and effluents can be an alternative to conventional alkalizing agents. This would increase the possibilities of valuing the ash, reducing the negative impacts of energy generation processes. Studies and conditions for the production of alkalizing agent are not clear in the literature.

Keywords: Industrial boiler; Alkalizing extract; Bottom ashes.

Resumen

Los nuevos conceptos de Economía Circular (EC) y los cambios en la matriz energética mundial impulsan el consumo de biomasa como fuente alternativa para la producción de energía. En este contexto, la astilla de eucalipto

(Eucalyptus) es una fuente prometedora de biomasa. La quema de esta biomasa produce residuos de cenizas, que deben eliminarse adecuadamente o recuperarse para reducir los impactos ambientales y económicos de estos residuos. Este artículo de revisión tiene como objetivo discutir la valorización de cenizas de biomasa de calderas industriales con un enfoque en la producción de agente alcalinizante. La valorización de este residuo se ha realizado de diferentes formas, siendo el uso de propiedades alcalinizantes para la corrección de suelos la más habitual dentro de las prácticas industriales de gestión de residuos. Por otro lado, la solubilización de los óxidos presentes en las cenizas y el uso de este extracto como agente alcalinizante en el tratamiento de aguas y efluentes puede ser una alternativa a los alcalinizantes convencionales. Esto incrementaría las posibilidades de valorización de las cenizas, reduciendo los impactos negativos de los procesos de generación de energía. Los estudios y condiciones para la producción del agente alcalinizante aún no están claros en la literatura.

Palabras clave: Caldera industrial; Extracto alcalinizante; Ceniza pesada.

1. Introdução

Os países com as maiores matrizes energéticas do mundo estão utilizando cada vez mais a biomassa para a produção de energia. Desta forma, uma transição de energia insustentável, em função da queima de combustíveis fósseis, para sustentável está acontecendo. O cavaco de eucalipto (Eucalyptus) é uma das fontes de biomassa mais favoráveis para produção de energia, pois possui um grande potencial energético como também uma economia na geração de calor para caldeiras e fornos, mostrando-se vantajoso frente a outras biomassas e combustíveis.

A queima de biomassa gera como resíduo sólido, a cinza pesada separada no fundo dos queimadores. Desta forma, ao passo que a demanda por produção de bioenergia aumenta, os resíduos deste processo de queima também aumentam, gerando grandes desafios em relação à eficiência e gestão desses subprodutos.

O acúmulo de resíduos provenientes da atividade industrial só foi levado a debate há pouquíssimo tempo. Conceitos como a da Economia Circular (EC), que tem como objetivo o gerenciamento de resíduos para mantê-los em circulação em suas cadeias produtivas, vem se tornando um novo modelo a ser espelhado por todo o ramo industrial moderno. Neste contexto, a cinza de biomassa, por possuir em sua composição óxidos alcalinos, tem um grande potencial de reuso. Pode-se destacar a aplicação no solo para corrigir a acidez do solo e na construção civil como substituição parcial da areia. A extração dos compostos alcalinos das cinzas para obtenção de um alcalinizante ainda é pouco explorada na literatura e pode ser uma alternativa para a implantação do conceito de Economia Circular (EC) no aproveitamento de cinzas de biomassa.

A disposição final mais comum para as cinzas de biomassa ainda são os aterros industriais, gerando elevados custos para sua destinação e transporte até o local. Estes altos custos aliados a uma rigorosa gestão ambiental de resíduos com potencial poluidor são as principais motivações para o estudo e aplicação de sustentáveis e economicamente viáveis de reuso das cinzas de biomassa.

Neste tocante, ainda são escassos na literatura os trabalhos com o foco na valoração das cinzas de biomassa através da produção de alcalinizantes. Desta forma, este artigo busca identificar a viabilidade técnica e econômica para o aproveitamento de cinzas de caldeira e apresentar uma nova alternativa ao setor e a sociedade com um alcalinizante de baixo custo e sustentável.

2. Metodologia

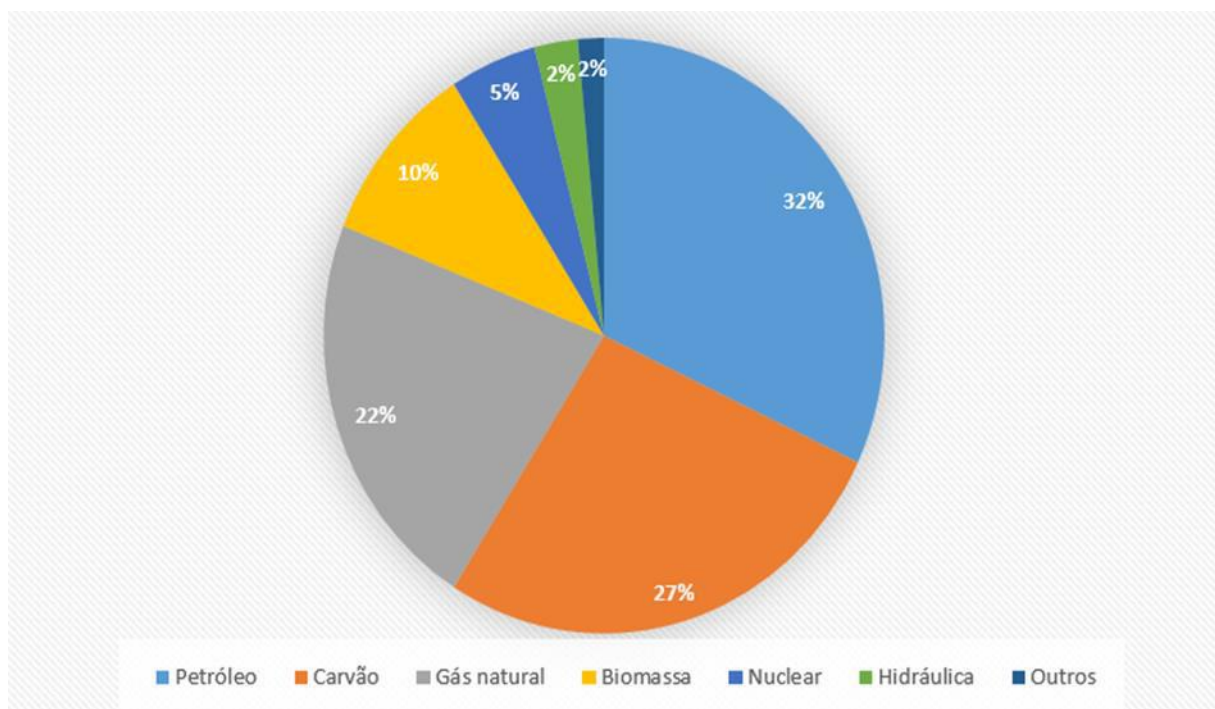
Durante muitos anos o desenvolvimento econômico esteve ligado ao uso de carvão mineral, petróleo e seus derivados. (Vasconcelos; Melo, 2021). Com a Revolução Industrial do século XVIII, foi possível alcançar patamares antes considerados impossíveis no setor energético, repercutindo diretamente no avanço da sociedade (Vasconcelos et al, 2021). Porém com o impacto causado no meio ambiente pelo uso excessivo desses combustíveis, o resultado negativo da evolução foi o aquecimento global (ONU, 2018). Desta forma, há uma busca por alternativas para reduzir o avanço desse aquecimento global e tem sido objeto de discussões entre as mais diversas nações (Bartels-Rausch, 2013).

A crise do petróleo na década de 1970 e as crescentes preocupações com os impactos do aquecimento global aumentaram a busca por fontes de energia renováveis, porém os combustíveis fósseis ainda dominam a geração de energia, gerando uma dependência global. De acordo com a International Energy Agency (2019), a biomassa representa apenas 10% da matriz energética mundial. O acesso a energia limpa até 2030 é um Objetivo de Desenvolvimento Sustentável – ODS da Organização Mundial da Saúde – ONU.

Os Governos e as empresas em todo o mundo se comprometeram a adicionar cerca de 826 gigawatts de nova capacidade de energia renovável não hidrelétrica na década até 2030, a um custo provável de cerca de US \$ 1 trilhão. Esses compromissos estão muito aquém do que seria necessário para limitar o aumento da temperatura mundial a menos de 2 graus Celsius. (Bloombergnef, 2020; Schappo et al., 2021).

A Figura 1 mostra a matriz energética mundial, sendo o petróleo e o carvão ainda muito utilizado na geração de energia da maioria dos países, principalmente os emergentes. As energias renováveis estão crescendo todos os anos na matriz mundial, muito por conta da queima de biomassa, uma estratégia barata e que substitui diretamente o topo da cadeia nas termoeletricas (Morello, 2020).

Figura 1. Matriz energética Mundial 2019.



Fonte: Adaptado de Agência Internacional de Energia (IEA).

O uso de combustíveis de biomassa pode reduzir significativamente o carbono das emissões, especialmente quando comparadas aos combustíveis fósseis, como carvão e petróleo. Por outro lado, a biomassa pode garantir uma redução significativa da dependência energética em relação a outros países, devido à disponibilidade que apresenta em várias regiões e nações do mundo (Viana, 2020).

A biomassa pode substituir o petróleo, o gás e o carvão em muitas aplicações (Morello, 2020). Existem três classes de biomassa, sendo elas:

- a) Sólidas: Madeira de reflorestamento, bagaço de cano de açúcar, resíduo orgânico (queima do sólido e reaproveitamento do biogás em algumas caldeiras, chamado de retroalimentação).
- b) Líquidas: Biodiesel, Bioetanol.

- c) Gasosos: Biogás (gás inflamável, produzido a partir de uma mistura de dióxido de carbono e metano, por meio de bactérias fermentadoras em matérias orgânicas).

O cavaco de eucalipto é uma das fontes de biomassa mais favoráveis para produção de energia, pois possui um grande potencial energético como também sua economia na geração de calor para caldeiras e fornos. Para atingir a mesma energia obtida na queima de 1 m³ desta biomassa (50% de umidade), seriam necessários 72 kg de óleo combustível, 220,39 KWh de energia elétrica, ou ainda, 105 kg de carvão mineral (Gonzalez et al 2014).

A usina termoelétrica é uma alternativa para a produção de energia elétrica para uso em geral, principalmente no setor industrial, sendo a biomassa um combustível utilizado (Kakaç.S, 2005). A Usina de biomassa Polaniec operada pela GDF Suez, em Polaniec (Polonia) é uma das maiores usinas de queima de biomassa do mundo atualmente. A usina queima em torno de 80% de cavacos de madeira e 20% de resíduos agrícolas desde 2012 produzindo 205 MW de energia (Power-Technology, 2021).

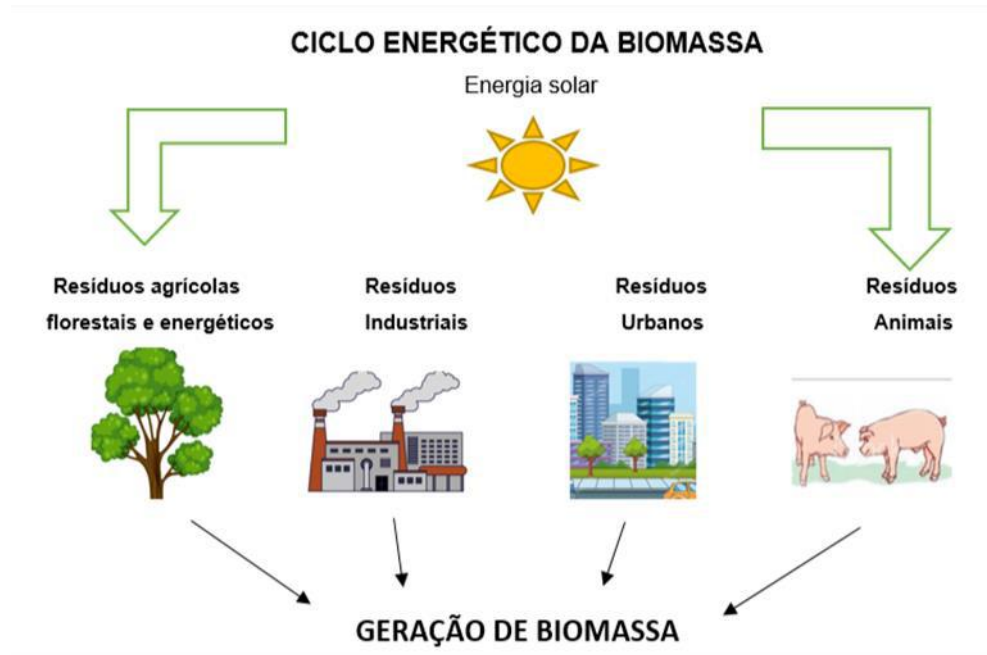
Biocombustíveis têm potencial para entregar pelo menos um quarto das necessidades energéticas projetadas no mundo até 2035, junto com outras fontes renováveis, diminuindo drasticamente as matrizes energéticas “sujas”. (Agência Internacional de Energia, 2011).

A utilização da bioenergia é uma alternativa com potencial de substituir parcialmente os combustíveis fósseis, apesar de não possuir a capacidade de solucionar totalmente o problema energético do mundo, justamente por ser uma energia renovável obtida a partir da biomassa e os principais benefícios são redução de emissão dos gases de efeito estufa e eliminação de resíduo (Jesus, 2021).

Destaca-se que a geração de energia através do ciclo de biomassa contribui para diminuir a dependência de combustíveis fósseis e hidrelétricos, possibilitando uma gama maior na matriz de energia elétrica no país, não perdendo o caráter renovável.

Nessa questão da biomassa, podemos exemplificar o ciclo da biomassa pelo esquema abaixo, sendo um tipo de matéria de fonte orgânica, que pode se dar através da fotossíntese, em que as plantas conseguem gerar energia química, que ao serem convertidas, se transformam em fontes de energia, como eletricidade, combustível, calor. Essas fontes organizadas são usadas justamente para produzir energia, denominando-se biomassa, matéria utilizada na produção de energia a partir de processos como a combustão do material orgânico produzida e acumulada em um ecossistema.

Figura 2. Ciclo da biomassa.



Fonte: Autoria própria.

Além disso, surgem vários investimentos e pesquisas acerca da viabilidade econômica de fontes alternativas para extração da matéria prima, para posterior geração de energia. As fontes geradoras devem estar em local próximo da produção da biomassa, justamente para não ocasionar a elevação de custos de transportes, otimizando e realizando o aproveitamento de resíduos de descarte, para contribuir com a descentralização da geração de energia (Marafon, 2016).

Segundo Rossetto (2012), uma das principais culturas nas florestas cultivadas para biomassa florestal é o eucalipto, sendo ele a melhor alternativa para geração de vapor em caldeiras. Por possuir ótimas características térmicas, e principalmente um preço de mercado economicamente viável, este tipo de cultura, consegue gerar grandes quantidades de biomassa, estimando-se que cada hectare de eucalipto plantado pode gerar cerca de 45 toneladas de galhos e cascas. De acordo com a ABRAF (2019) 72,80% dos plantios florestais brasileiros, no ano de 2018 foram ocupados pela espécie, confirmando assim o seu grande potencial para geração de energia.

O desenvolvimento sustentável pode ser visto por diferentes vieses, sendo um deles a ambição de que a humanidade venha a atender às suas necessidades sem comprometer a possibilidade de que as futuras gerações não tenham (VEIGA, 2015).

Neste tocante, as questões ambientais em novos produtos são de suma importância, uma vez que a prática da inovação sustentável deve ser algo buscado constantemente no mundo acadêmico e industrial, por motivos de auto sustentabilidade e enriquecimento tecnológico (Medeiros, J.F. et al, 2018).

A temática ambiental vem sendo utilizada como forma de diferenciação, aumentando o fator competitivo, desde que de fato a empresa seja reconhecida pela sociedade como sustentável, e “conhecer a sustentabilidade de fato é o primeiro passo para a realização de estratégias organizacionais” (Falsarella & Jannussi, 2020). Com isso, a busca pela sustentabilidade empresarial surge como um novo modelo de gestão e pode-se dizer que somente será alcançada quanto se têm sucesso no modelo de gestão que conseguir o equilíbrio entre a sustentabilidade econômica, social e ambiental. A obtenção do alcalinizante de cinzas pode ser uma estratégia organizacional para o reconhecimento social a partir dos conceitos de sustentabilidade.

Nesse viés, visualiza-se a inovação ambiental, que também pode ser considerada como inovação verde ou ecoinovação, que compreende produtos, processos, técnicas, entre outros, com o foco principal em reduzir ou evitar danos ao

meio ambiente. A prática dessa inovação possibilita o desenvolvimento de uma maior capacidade de antecipação de demandas do mercado, gerando assim, uma vantagem competitiva para as empresas que se adequarem a esse movimento e inovarem com a criação e divulgação de produtos que possam unir a sustentabilidade com o meio econômico.

O foco no desenvolvimento de inovações verdes faz com que as empresas empreguem novas técnicas e tecnologias, abastecendo o mercado com produtos mais eficientes e provocando mudanças em seus modelos de negócios e em seus sistemas de suporte.

Segundo Medeiros et al (2018), são quatro fatores determinantes para um produto sustentável, sendo eles listados na Tabela 1:

Tabela 1. Fatores para o sucesso de um produto verde.

Conhecimento de mercado e legislação	Cumprimento das expectativas do cliente, estar dentro das leis e normas que regem o produto, conhecimento sobre os fatores que impulsionam a compra sustentável e o conhecimento do consumo deste produto.
Colaboração interfuncional	P&D, marketing e integração de produção, Integração das partes interessadas (fornecedores, universidades, especialistas em meio ambiente e outros).
Aprendizagem orientada para a inovação	Eliminação de barreiras culturais, desenvolvimento de um conjunto de competências verdes (proatividade, criatividade e experimentação, possuir análise reflexiva crítica.
Investimentos em P&D	Investimento em pesquisa de tecnologia mais limpa, investimento/adoção de métodos para o desenvolvimento de produtos sustentáveis, investimento em infraestrutura de P&D.

Fonte: Adaptado de J.F. de Medeiros et al (2011).

Por fim, destacam-se os principais aspectos considerados dos consumidores ao comprar produtos sustentáveis, conforme entendimento de Furtado (2020), sendo as atitudes de consumo, o bem-estar, a saúde, os grupos de referências e alguns atributos percebidos, como preço e qualidade. Desta forma, as organizações, investindo em produção e estratégias de marketing para os consumidores, podem gerar valor a curto e longo prazo. O alcalinizante a partir de cinzas tem potencial para atender esta demanda de mercado.

A Economia Circular (EC) se trata de uma alternativa nova e sustentável envolvendo a redução, reutilização, recuperação e reciclagem de materiais e energia na indústria. Dessa forma, ela destoa da economia linear que se baseia no fim de vida dos materiais, criando assim um processo integrado com novos fluxos cíclicos. Através das atividades de uma EC, o valor dos produtos e serviços é recuperado no longo prazo no sistema econômico. Seu principal objetivo é a preservação e valorização do capital natural e minimização de desperdícios. Sua implementação se dá por diversos elos de cadeias, com etapas de concepção e reentrada de ciclos produtivos (Pereira 2020). A Figura 3 apresenta de forma resumida o conceito de EC.

Figura 3. Círculo virtuoso da economia verde do produto.



Fonte: GBC Brasil (2019).

Segundo Barros et al. (2018), a Economia Circular pode ser implementada em todas as áreas dentro da indústria, auxiliando na implementação de uma gestão de negócios mais sustentável. Por um outro lado, Stumpf et al. (2021) aponta que a modificação e melhoria de processos já existentes ocupa a maior parte do cenário, e, portanto, mudanças radicais no planejamento estratégico da organização para focar na EC são casos esporádicos.

De acordo com a Confederação Nacional da Indústria (2019), 76,5% das indústrias entrevistadas declaram que desenvolvem alguma atividade relacionada a EC, sendo 56,5% destas práticas de otimizações de processos, 37,1% de utilização de recursos circulares e 24,1% de recuperação de recursos. Neste contexto, aliar o conceito de EC e o desenvolvimento de produtos verdes pode aumentar a sustentabilidade das indústrias, trazendo aspectos positivos ao negócio.

Destaca-se que a reutilização da matéria prima é vista como papel de destaque no que tange as inovações, bem como, no impacto de ganhos sustentáveis. A diferenciação que pode-se utilizar entre os termos de reciclagem, reutilização e valorização, é que a reciclagem é o processo mais macro, justamente por tratar da fusão das matérias-primas dos produtos e criando novos produtos com essa matéria selecionada. A reutilização por sua vez é mais minuciosa, pois não trabalha com a fusão e sim com a utilização de produtos danificados para construção ou conserto de outros, e por fim, a valorização é considerada como a criação de energia a partir de produtos à base de combustível (Gonzalez et al 2019). Destaca-se que, o presente artigo traz uma abordagem acerca da valorização da matéria prima utilizando as cinzas de caldeiras a biomassa como resíduo a valorizar através da produção do alcalinizante.

3. Resultados e Discussão

A procura por energias limpas e conscientização da indústria, somado ao crescimento nos últimos anos pelo desenvolvimento sustentável, faz com que sejam indispensáveis as pesquisas que possibilitem um melhor aproveitamento dos resíduos da queima de biomassas (cavaco de eucalipto, por exemplo), as cinzas pesadas (Gonzalez et al 2014)

Segundo James (2012), o conceito de cinzas significa basicamente o material não queimado durante o processo de combustão, e nisso exposto, pode conter algum teor de matéria orgânica em função da queima incompleta. Pode ser chamado de escória (quando retirado no cinzeiro), cinza volante (o que é arrastado pelos gases) ou material particulado, quando emitido através da chaminé (Braunbeck, et al. 1999; Gimenes, 2012).

Segundo Toller (2019), as cinzas da incineração podem ser tratadas como resíduo a ser despejado em aterro ou como recurso adequado capaz de ser reutilizado. Para escolher o melhor cenário de gestão, é necessário conhecimento sobre o potencial impacto ambiental que se pode esperar, incluindo não apenas o impacto local, mas também o globo em geral (Sbruzzi, 2017).

Segundo a NBR 10.004/2004, resíduos sólidos são aqueles que se encontram nos estados sólido e semissólido, os quais resultam de atividades de origem industrial, dentre elas os sistemas de controle de poluição. Estes resíduos podem ser classificados como Perigosos – Classe I e Não Perigosos – Classe II (NBR 10.004/2004). As cinzas podem ser classificadas como Classe II e este resíduo precisa então ser disposto em aterros industriais ou dispostos controladamente no solo, sendo preferida pelos Órgão Ambientais a primeira forma.

Os metais tóxicos encontrados nas cinzas de fundo são considerados prejudiciais quando não manejados da forma correta, por isso o estudo é de extrema importância para conhecer a composição da fuligem antes do seu descarte. (Silva, Akasaki, Sanches, 2020).

O percentual de cinzas depende da eficiência do processo de queima. Estima-se que dos 750 milhões de toneladas de cinzas da biomassa florestal são produzidos anualmente, somente 50% desse volume são utilizadas como substrato e fonte de adubos em florestas (Sbruzzi, 2017). Se considerarmos que este resíduo deveria ser disposto em aterros industriais a um custo estimado de R\$200/ton, teríamos um gasto de R\$150 milhões por ano.

Uma pesquisa bibliográfica foi realizada na Base Scopus com os termos “ash AND valorization OR valorisation” (714 artigos científicos e de revisão). Esta pesquisa foi refinada utilizando os termos “bottom ash AND valorization OR valorisation” (84 artigos científicos e de revisão), sendo ambas realizadas para os últimos 10 anos (2001-2021). Outra busca com os termos “bottom ash AND alkalizing OR alkali” não encontrou artigos ou os artigos encontrados (n<10) não apresentaram relação com o tema estudado. Os resultados da pesquisa foram analisados e organizados na forma de gráficos/figuras utilizando o software RStudio. As Figuras 4 e 5 apresentam, respectivamente, a relação entre as palavras-chave e a nuvem de palavras gerados com os termos da pesquisa “bottom ash AND valorization OR valorisation”.

Uma nova busca, agora na base de patentes Patentscope (<https://patentscope.wipo.int/search/pt/search.jsf>), retornou algumas patentes semelhantes ao tema do artigo, no entanto nenhum resultado se refere a ideia apresentada neste artigo que é de produção de alcalinizante. O Quadro 3 resume esta pesquisa.

Quadro 2. Resumo das principais patentes relacionadas ao tema de produção de alcalinizantes a partir de cinzas.

Identificação da patente	Descrição breve
CN103130248 - METHOD FOR PREPARING POTASSIUM SALT FROM BIOMASS FUEL BOILER ASH (China)	Descreve um método de solubilização das cinzas para a obtenção de sal de potássio sólido
JP2017077552 - METHOD FOR UTILIZING WOODY COMBUSTION ASH (Japão)	Descreve um método de solubilização das cinzas para a obtenção de uma pastilha alcalina que pode ser utilizada para a correção do solo
CN112010428 - METHOD FOR CULTURING CELLULOSE ETHER WASTEWATER ANAEROBIC SLUDGE BY USING BIOMASS BOILER ASH (China)	Descreve um método de cultivo de lodo anaeróbio através da imobilização e manutenção do pH deste lodo
BR102014028780 - CINZAS DE MADEIRA PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES DAS INDÚSTRIAS PROCESSADORAS DE AMIDO DE MILHO E SIMILARES (Brasil)	Descreve um método para aplicação direta das cinzas no tratamento físico-químico de efluentes de amido de milho e similares

Fonte: Autores.

A análise bibliográfica mostrou claramente que a preocupação com o gerenciamento e novas oportunidades para as cinzas, incluindo os conceitos de economia circular e valorização. No entanto, a produção de alcalinizantes a partir de cinzas ainda não é explorada expressivamente.

Os elementos mais encontrados na formação de cinzas da biomassa são conhecidos como metais alcalino e alcalino-terrosos, sílica e enxofre, além dos metais tóxicos associados a cinzas de fundo. Estes metais tóxicos são considerados prejudiciais quando não manejados da forma correta, por isso o estudo é de extrema importância para conhecer a composição da fuligem antes do seu descarte (Silva et al., 2020; Silvério, 2013).

As cinzas de eucalipto são compostas principalmente por óxido de cálcio (CaO) e dióxido de silício (SiO₂), porém o elemento que se apresenta de forma mais significativa é o CaO, que popularmente é conhecido com cal virgem. Este composto em reação com água transforma-se no hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂), conhecido como cal hidratada (Silvério, 2013).

O método analítico de fluorescência de raio X é utilizado para caracterizar as cinzas da biomassa de eucalipto (Dias et al, 2017; Peterson et al 2016), em seu trabalho realizou a caracterização por fluorescência de raio x das cinzas de eucalipto que foram geradas em uma indústria de cerâmica, e concluiu que elas também eram compostas predominantemente de CaO (40,10%) e SiO₂ (8,87%). Os autores também encontraram quantidades relevantes de óxidos de potássio (K₂O) e óxido de magnésio (MgO). Outros óxidos como o de alumínio, ferro, titânio, fósforo também estavam presentes nas cinzas, porém em quantidades menores.

Borlini et al. (2005) também concluíram que os elementos que possuem maiores quantidades na composição química da cinza são: CaO (32,6%) e SiO₂ (16,9%), sendo composta também por alguns outros óxidos (Tabela X), além de possuírem altas concentrações de carbonatos e hidróxidos de cálcio, o que justifica a predominância do CaO.

Quadro 3. Composição de cinzas de biomassa.

Composto	Concentração (%)	
	Borlini et al. 2005	Vaske 2012
CaO	32,60	48,99
SiO ₂	16,90	3,45
MgO	7,20	1,92
K ₂ O	7,00	6,11
SO ₃	4,40	1,67
P ₂ O ₅	3,70	2,04
Al ₂ O ₃	2,70	1,00
Na ₂ O	2,40	-
Fe ₂ O ₃	0,80	2,00
SrO	0,72	0,65
MnO ₂	0,39	2,88
Cl ⁻¹	0,15	3,08
BaO	-	0,41
TiO ₂	-	0,15
ZnO	-	0,07
CuO	-	0,03

Fonte: Autores.

Segundo Gonzalez et al. (2014), a caracterização de cinzas possuem médias muito parecidas, sendo as cinzas de eucalipto compostas em proporções maiores de CaO e SiO₂, além de outros óxidos como alumínio, titânio, ferro e até mesmo a presença de cloro (Cl) na composição da cinza.

De acordo com Brand e Muniz (2012), a influência na composição química da cinza possui variação de acordo com a época de colheita e estocagem da biomassa.

Segundo Fernandes et al. (2016) também é importante conhecer a taxa de carbono residual para resíduos orgânicos. Na análise obtida pelo autor a taxa de matéria orgânica para amostras de cinzas de eucalipto de diferentes origens, obteve-se teores de carbono de até 9%. Essa taxa mostra-se interessante para o uso na construção civil e de adição de minerais em vários meios por exemplo.

Toda substância química que causa a transformação do meio aquoso para um pH acima de 7,0 é um alcalinizante (Guidi, Ana. 2015). As bases e sais são os componentes que atuam como alcalinizantes na correção de pH de soluções, solos, efluentes dentre muitas outras aplicações. Define-se alcalinizantes como compostos que são capazes de proporcionar a alcalinidade necessária para coagulação ou para o equilíbrio do carbonato de cálcio (Ottestetter et al, 1971). Os sais básicos como o aluminato ou carbonato de sódio possuem efeitos de neutralizar acidez, mas que não são tão potentes como o Hidróxido de Cálcio (Guidi, Ana. 2015).

A alcalinidade das cinzas está associada à presença de carbonatos e principalmente de óxidos metálicos em sua composição gerados pela queima da madeira. Apesar da composição da cinza ser variada e com diversos compostos, os únicos solúveis são os óxidos e carbonatos de potássio e sódio (Amaro et al, 2013).

Para extração de compostos alcalinos presentes na cinzas, normalmente se realiza a extração em meio aquoso onde os óxidos são convertidos em hidróxidos alcalinos solúveis de acordo com as Reações 1 e 2 (Russell, 2013) e, juntamente com os bicarbonatos e carbonatos, que são lixiviados para a solução, geram um extrato alcalino (Venquiaruto et al, 2016).



Para Cavalcante (2009) a neutralização da acidez em soluções é obtida pelos seguintes agentes alcalinizantes: Cal (CaO), calcário (CaCO₃), soda cáustica (NaOH), carbonato de sódio (Na₂O₃), hidróxido de amônia (NH₄OH). Entre todos, a cal é o alcalinizante mais utilizado para neutralização de ácidos (Nunes, 2001).

Alguns estudos demonstram o uso de alcalinizantes para despoluição do solo junto da utilização de cinzas provenientes da combustão de resíduos orgânicos (Rodrigues, D. 2017). Isto é devido ao seu alto teor alcalino, formado principalmente por Carbonato de Cálcio mencionado antes (Guidechem, 2010)

Quando aplicados em solo ácido, eles promovem um efeito de correção da acidez na alteração dos processos de troca iônica nos solos. O que torna essas cinzas tão alcalinas é a sua quantidade considerável de elementos como cálcio, fósforo e potássio, formam combinações químicas com caráter básico mais reativas, além de possuir um processo de sequestro de carbono, apresentando assim um pH entre 9 e 13. O Carbonato de Cálcio, a substância utilizada em conjunto com as cinzas com alto fator alcalino, é um derivado do Hidróxido de Potássio, que também possui aplicações químicas e industriais para reatividade com ácidos (Rodrigues, D.2017).

A cinza funciona como agente melhorador das características químicas do solo e como fonte de nutrientes para as árvores, principalmente, de P, K, Ca e Mg, portanto o uso da cinza provoca um aumento do pH, devido à liberação de cátions básicos, como K e Ca (Moro & Gonçalves, 1995).

Segundo Dallago (2000), a aplicação do resíduo de cinzas em plantio de eucalipto, é uma técnica economicamente viável, aumentando a fertilidade do solo e influenciando o desenvolvimento da espécie.

De acordo com Rossi et al. (2011), as cinzas podem ser utilizadas na construção civil, pois essa prática já possui uma exploração através de grandes pesquisas para seu reaproveitamento tais como na indústria do cimento e principalmente no ramo da cerâmica segundo Peterson et al (2016).

O cultivo intenso na agricultura moderna acarreta a diminuição da fertilidade do solo, portanto pode-se apresentar deficiências de minerais para o plantio, sendo possível utilizar as cinzas vegetais para melhorar a fertilidade do solo, dando destino adequado ao resíduo (Guariz et al., 2009). A utilização de cinzas como substituição e suplementação de adubos minerais ou orgânicos pode ser considerada uma alternativa viável em pesquisas e aplicações em áreas florestais. Estas técnicas de utilização da cinza de eucalipto como suplementação de solo levam a um aumento da fertilidade do solo (Silva et al. 2013; Struzzi, 2017). Estima-se que dos 750 milhões de toneladas cinza produzidos anualmente, somente 50% desse volume são utilizadas como substrato e fonte de adubos em florestas (Sbruzzi, 2017).

A coagulação e floculação são processos físico-químicos convencionais e largamente utilizados para o tratamento de águas e efluentes. A utilização de coagulantes inorgânicos, normalmente sais de alumínio ou ferro, exigem a adição de alcalinizantes para que os processos de coagulação e floculação atinjam as eficiências esperadas. Os alcalinizantes a base de hidróxido de sódio ou de cálcio são os mais utilizados e precisam ser adquiridos pelas indústrias ou companhias de água e esgoto.

A utilização dos extratos alcalinizantes obtidos a partir das cinzas para a substituição dos alcalinizantes convencionais utilizados nos diferentes tratamentos de águas e efluentes se apresenta como uma alternativa para a valorização deste resíduo. Diante disto, necessita-se estudar e otimizar as condições de extração, assim como viabilizar tecnicamente a sua produção em escala industrial. Sugere-se o estudo de agitação, temperatura e quantidade de cinzas para a otimização do processo de obtenção deste extrato alcalinizante.

4. Conclusão

Existe uma série de preocupações ambientais, econômicas e técnicas associadas ao aumento do uso da biomassa como fonte de geração de energia para a indústria, mas nenhuma dessas questões representa um obstáculo intransponível para esta fonte de energia sustentável. Em contrapartida, o impacto ambiental e econômico causado pela disposição adequada das cinzas não pode ser desconsiderado.

A aplicação em solo apareceu como a alternativa utilizada na prática pelas indústrias para a valorização das cinzas, no entanto os custos com a disposição quando esta alternativa não é viável, deixam uma lacuna para novas alternativas.

As cinzas de biomassa possuem na sua composição diferentes óxidos que tem potencial para solubilização e produção de um alcalinizante alternativo de baixo custo. Os estudos e as condições para a produção do alcalinizante ainda não estão claras na literatura.

Os usos para o extrato alcalinizante podem ser como ajuste de pH e alcalinidade em sistemas de tratamento físico-químico de águas e efluentes, bem como em sistemas biológicos anaeróbios atendendo os princípios da economia circular.

Referências

- Balsadi, O. V. (2001). Mudanças no meio rural e desafios para o desenvolvimento. *São Paulo Em Perspectiva*, 15(1), 155–165. <https://doi.org/10.1590/s0102-88392001000100017>
- Brand, M. A., & Muñiz, G. I. B. de. (2012). Influência da Época de Colheita e da Estocagem na Composição Química da Biomassa Florestal. *Floresta E Ambiente*, 19(1), 66–78. <https://doi.org/10.4322/foram.2012.008>
- Barbosa, R., Barbosa, V. M., & Felix, E. P. (2016). Avaliação da geração de resíduos em disciplinas de química orgânica e inorgânica e propostas de redução. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)*, 40, 43–56. <https://doi.org/10.5327/z2176-947820160086>
- Bartels-Rausch, T. (2013). Ten things we need to know about ice and snow. *Nature*, 494(7435), 27–29. <https://www.nature.com/articles/494027a>
- Biazus, J. V., Damin, A., Cavalheiro, J. A., Zucatto, A., Cericatto, R., Melo, M. P., Cassiano, A. S., & Brazan, M. L. (2018). Latissimus dorsi musculocutaneous flap reconstrution after nipple sparing mastectomy complication: case report. *Mastology*, 28(s1), 59–59. <https://doi.org/10.29289/259453942018v28s1059>
- Chemical query (2022). Melting point boiling point supplier. *Guidechem*. (n.d.). <https://www.guidechem.com/dictionary/584-08-7.html>
- Débora, J., Rodrigues, Paula, D., & Beja, A. (2017). Instituto politécnico de beja escola superior agrária dissertação de mestrado estudo da utilização de cinzas de biomassa e resíduos orgânicos na fitoestabilização assistida de solos afetados por atividades mineiras *Orientado por: Doutora Patrícia Palma*. Retrieved from [https://repositorio.ipbeja.pt/bitstream/20.500.12207/4696/1/D%e3%a9bora%20Sadik Kakac - Heat Exchangers - Selection Rating And Thermal Desgin \[ref 3\]](https://repositorio.ipbeja.pt/bitstream/20.500.12207/4696/1/D%e3%a9bora%20Sadik%20Kakac%20Heat%20Exchangers%20Selection%20Rating%20And%20Thermal%20Desgin%20ref%203)
- Economia Circular. (2019). GBC Brasil. <https://www.gbcbrasil.org.br/economia-circular/>
- Eletrônico, A., Panizzon, G., Guidi, A., Bueno, F., Nakamura, T., Nakamura, C., Prado, B., & Filho, D. (2015). Otimização de solventes, carreadores, surfactantes, alcalinizantes com potencial emprego para obtenção de dispersões sólidas contendo daidzeína. http://rdu.unicesumar.edu.br/bitstream/123456789/3026/1/ana_carolina_guidi_2.pdf
- Falsarella, M. O.; Jannussi, C. S. C. (2020). Inteligência organizacional e competitiva e big data: uma visão sistêmica para a gestão sustentável das organizações. *Perspectivas em Ciência da Informação*, 25(1), 179-204.
- Fernandes, I. J., Calheiro, D., Kieling, A. G., Moraes, C. A. M., Rocha, T. L. A. C., Brehm, F. A. and Modolo, R. C. E., (2016). Characterization of rice husk ash produced using different biomass combustion techniques for energy. *Fuel* 165, 351-359.
- Furtado, B. dos A. (2020). Cosméticos Sustentáveis e a Intenção de Compra de Consumidores no Brasil. *Management in Perspective*, 1(1), 59–78. <https://doi.org/10.14393/mip-v1n1-2020-47103>
- Gomes Cardoso, R., Thompson, J., & Canobre, S. (n.d.). II-168 –Investigação da natureza e proporção de alcalinizantes combinados para o tratamento de efluente de lavanderia industrial. Retrieved from <https://www.tgambiental.com.br/artigos/II-168%20-%20AIDIS.pdf>
- International Energy Agency. (2011) IEA. Data and statistics. Retrieved from <https://www.iea.org/data-and-statistics/datatables/?country=WORLD&energy=Electricity&year=2019>. International Energy Agency. World Energy Outlook
- Krämer, J. (2020). Global Trends in Renewable Energy Investment. *Frankfurt School*. <https://www.fs-unep-centre.org/global-trends-in-renewable-energy-investment-2020/>
- Koeller, P., Miranda, P., Lustosa, M. C., & Podcameni, G (2019). EcoInovação: revisitando o conceito. *Encontro Nacional de Economia Industrial e Inovação*, Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/335643702_Ecoinovacao_revisitando_o_conceito.

- Medeiros, E. N. M. de, Sposto, R. M., Neves, G. de A., & Menezes, R. R. (2010). Incorporação de cinza de lenha, lodo de estação de tratamento de água e cinza de casca de arroz em massa cerâmica: utilização da técnica de planejamento. *Cerâmica*, 56(340), 399–404. <https://doi.org/10.1590/s0366-69132010000400014>
- Medeiros, J. C., Albuquerque, J. A., Mafra, Á. L., Rosa, J. D., & Gatiboni, L. C. (2008). Relação cálcio:magnésio do corretivo da acidez do solo na nutrição e no desenvolvimento inicial de plantas de milho em um Cambissolo Húmico Álico. *Semina: Ciências Agrárias*, 29(4), 799. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2008v29n4p799>
- Medeiros, J. F., Lago, N. C., Colling, C., Ribeiro, J. L. D., & Marcon, A. (2018). Proposal of a novel reference system for the green product development process (GPDP). *Journal of Cleaner Production*, 187, 984–995. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.237>
- Morello, M. (2020). Biomassa para produção de Energia Sustentável. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo Do Conhecimento*, 16(10), 81–102. <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/meio-ambiente/energia-sustentavel>
- Nascimento-Dias, B. L. do, Oliveira, D. F., & Anjos, M. J. dos. (2017). A utilização e a relevância multidisciplinar da fluorescência de raios X. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 39(4). <https://doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2017-0089>
- Oliveira, T. R. A. de, Carvalho, H. W. L. de, Costa, E. F. N., & Filho, J. L. S. de C. (2017). Correlation among adaptability and stability assessment models in maize cultivars. *Australian Journal of Crop Science*, 11(05), 516–521. <https://doi.org/10.21475/ajcs.17.11.05.p304>
- Pereira, C. C. de P., Queiroz, E. A., & Costa Júnior, E. da. (2021). Estudo de caso da curricularização da extensão nos cursos de tecnologia em um campus do IFMG. *ForScience*, 9(2), e00945. <https://doi.org/10.29069/forscience.2021v9n2.e945>
- Polaniec Biomass Power Plant. (2022) (n.d.). *Power Technology*. Retrieved from <https://www.power-technology.com/projects/polaniec-biomass-power-plant-poland>
- Ramires, M. F., Souza, E. L. de, Fontanive, D. E., Bianchetto, R., Cezimbra, J. C. G., & Antonioli, Z. I. (2021). Uso potencial de resíduos de abatedouro de suínos como fonte de nutrientes na agricultura. *Revista Em Agronegócio E Meio Ambiente*, 14(1), e006413. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2021v14n1e006413>
- Sbruzzi, E. K. (2017). Cinza de biomassa florestal para aplicação nas culturas do feijão e do milho. *Dissertação apresentada ao Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo*.
- Silva, M. N. da, Silva, W. F. da, Pimentel, W. C. A., & Neto, G. P. da S. (2018). Caracterização da cinza do eucalipto e seu uso em materiais cerâmicos. *Anais Colóquio Estadual de Pesquisa Multidisciplinar & Congresso Nacional de Pesquisa Multidisciplinar*. <https://unifimes.edu.br/ojs/index.php/coloquio/article/view/387>
- Silva, S. P. da, Akasaki, J. L., & Sanches, A. O. (2020). Reaproveitamento do resíduo da madeira de eucalipto (RME) para a produção de energia sustentável. *Revista Científica ANAP Brasil*, 13(28). <https://doi.org/10.17271/19843240132820202251>
- Staff View: O Design para a Economia Circular, repensando a forma como fazemos as coisas. (2020). *Ibict.br*. https://oasisbr.ibict.br/vufind/Record/UNB_b42872ea7a972a3562976f6021bb4d89
- Vaske, N. R. (2012). Estudo preliminar da viabilidade do aproveitamento da cinza proveniente de filtro multiciclone pela combustão de lenha de eucalipto em caldeira fumotubular como adição ao concreto. *Tese de doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul*. 325 p.
- Veiga, R. M. da. (n.d.). Do lixo à Economia Circular: um salto possível? <https://doi.org/10.14393/ufu.te.2019.2170>