

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**LUCAS HIRATA VANZELA**

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA INCORPORAÇÃO DA DAPIRONA NA  
POZOLANICIDADE DA CINZA DE CALDEIRA**

**PONTA GROSSA**

**2022**

**LUCAS HIRATA VANZELA**

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA INCORPORAÇÃO DA DIPIRONA NA  
POZOLANICIDADE DA CINZA DE CALDEIRA**

**Study of the influence of the incorporation of dipyrone on the pozolanicity of  
boider ash**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentada como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Química da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Prof<sup>a</sup>. Dra. Juliana Martins Teixeira de  
Abreu Pietrobelli

Coorientador(a): B.Sc. Luiza Lascosk

**PONTA GROSSA**

**2022**



Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**LUCAS HIRATA VANZELA**

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA INCORPORAÇÃO DA DIPIRONA NA  
POZOLANICIDADE DA CINZA DE CALDEIRA**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentada como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Química da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 22 de Junho de 2022

---

Juliana Martins Teixeira de Abreu Pietrobelli  
Doutorado em Engenharia Química  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Cesar Arthur Martins Chornobai  
Doutorado em Química  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Mariane Hawerroth  
Bacharel em Engenharia Química  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**PONTA GROSSA**

**2022**

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná e à Universidade Estadual de Ponta Grossa, por fornecerem, em parceria, todas as ferramentas e estrutura necessária para realização deste trabalho.

Aos professores Eduardo Pereira e Fernanda Brekailo da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pelo tempo e conhecimento compartilhado e, auxílio direto nos experimentos e desenvolvimento deste trabalho.

À mestranda em Engenharia Química pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná Mariane Hawerth pela ajuda e conhecimento compartilhado comigo.

E em especial, à coorientadora deste trabalho e mestranda em Engenharia Química pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná Luiza Lascosk e à minha orientadora, Prof.(a) Dr.(a) Juliana Martins Teixeira de Abreu Pietrobelli, por me permitirem participar deste projeto, por todo os ensinamentos e principalmente, pela paciência e dedicação com este trabalho.

E aos meus maiores exemplos da vida, meu pai e minha mãe, por todo o esforço para me dar o melhor suporte durante todos esses anos de universidade.

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo estudar a influência do processo de bioadsorção nas características pozzolônicas das cinzas de cavaco de eucalipto, utilizando como base os requisitos e procedimentos propostos pela ABNT com relação à umidade, perda ao fogo, massa específica e teor de hidróxido de cálcio fixado. As cinzas pré-bioadsorção apresentaram umidade e massa específica condizentes com as normas, porém valores de perda ao fogo acima do permitido e de hidróxido de cálcio fixado abaixo do requisito da norma. Já as cinzas pós-bioadsorção apresentaram somente a massa específica dentro dos requisitos das normas, sendo umidade e perda ao fogo acima do permitido e teor de hidróxido de cálcio fixado abaixo do estabelecido na norma. Assim, pode-se observar que a dipirona influenciou positivamente nos fatores perda ao fogo e teor de hidróxido de cálcio fixado e negativamente no fator teor de umidade das cinzas estudadas. Ao compararmos os resultados obtidos dos dois tipos de cinzas, conclui-se que ambas não contêm as características necessárias para serem consideradas um material pozzolânico, apesar do potencial de incorporação destas como fíler.

Palavras-chave: bioadsorção; dipirona; argamassa; pozzolanas.

## **ABSTRACT**

This work aims to study the influence of the biosorption process on the pozzolanic characteristics of eucalyptus chip ash, using as a basis the requirements and procedures proposed by ABNT in relation to moisture, loss on fire, specific mass and fixed calcium hydroxide content. The pre-biosorption ash presented moisture and specific mass in accordance with the standards, but the loss on fire presented values above the allowed and the calcium hydroxide set below the standard requirement. The post-biosorption ashes, on the other hand, presented only specific mass within the requirements of the standards, with moisture and loss on fire above the allowed and calcium hydroxide content set below that established in the standard. Thus, it can be observed that dipyrone positively influenced the loss on fire factors and fixed calcium hydroxide content and negatively influenced the moisture content factor of the ash studied. When comparing the results obtained from the two types of ash, it is concluded that both do not contain the necessary characteristics to be considered a pozzolanic material, despite the potential of incorporation of these as fillers.

Keywords: biosorption; dypirone; cement mortar; pozzolans.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 - Fluxograma do tratamento convencional da água.....</b>	<b>15</b>
<b>Figura 2 - Tipos de argamassas.....</b>	<b>19</b>
<b>Figura 3 - Classificação das pozolanas.....</b>	<b>20</b>
<b>Figura 4 - Cinzas pré-biossorção.....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 5 - Cinzas pós-biossorção.....</b>	<b>25</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Exigências químicas das pozolanas.....	20
Tabela 2 - Exigências físicas das pozolanas. ....	20
Tabela 3 - % de umidade obtidas.....	26
Tabela 4 - % de perda ao fogo pré-biossorção.....	27
Tabela 5 - % de perda ao fogo pós-biossorção.....	27
Tabela 6 - Massa específica pré-biossorção.....	28
Tabela 7 - Massa específica pós-biossorção.....	28
Tabela 8 - Teor de hidróxido de cálcio fixado (Chapelle modificado). ....	29
Tabela 9 - Resultados comparados à norma. ....	30



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>12</b>
2.1	Objetivo geral.....	12
2.2	Objetivos específicos.....	12
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>13</b>
3.1	Contaminantes de preocupação emergente .....	13
3.2	Fármacos .....	13
3.3	Tratamento de efluentes .....	14
3.4	Biossorção.....	15
3.5	Biomassa .....	16
3.6	Cinzas residuais .....	17
3.7	Argamassas .....	18
3.7.1	Tipos de argamassa .....	19
3.7.2	Materiais constituintes da argamassa .....	19
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>22</b>
4.1	Preparo das amostras de cinzas.....	22
4.2	Umidade .....	22
4.3	Perda ao fogo.....	23
4.4	Massa específica .....	23
4.5	Teor de hidróxido de cálcio fixado (Chapelle modificado) .....	24
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>25</b>
5.1	Preparo das amostras de cinzas.....	25
5.2	Umidade .....	25
5.3	Perda ao fogo.....	26
5.4	Massa específica .....	27
5.5	Teor de hidróxido de cálcio fixado (Chapelle modificado) .....	29
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>31</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>32</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A preocupação com a sustentabilidade é crescente em todos os níveis, desde o cidadão em suas atividades diárias até as maiores indústrias, das fontes de energias utilizadas até o tratamento e reaproveitamento dos resíduos produzidos.

Grande parte da energia produzida no Brasil é destinada às atividades industriais e, muitas vezes, as próprias empresas são responsáveis por essa produção. Devido a essa demanda constante de energia pelas grandes empresas e também à preocupação da população em geral com a sustentabilidade, investe-se muito em pesquisas sobre fontes de energias que não agridam ao meio ambiente e sejam renováveis.

A repartição da Oferta de Energia Interna (OIE) no Brasil, segundo o Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional – BEN (2021), que utiliza como base os dados do ano de 2020, apresentou que cerca de 48,4% das fontes de energia são renováveis, um aumento de 2,5% em relação ao ano de 2019. Dentre todas as fontes de energia, cerca de 8,9% são a lenha e o carvão vegetal. Grande parte dessa lenha é destinada a geração de energia em caldeiras industriais, por se tratar de uma fonte renovável e relativamente barata, se comparada a energia elétrica, por exemplo.

Para isso, utiliza-se na maioria das caldeiras em que a biomassa é o combustível, o cavaco de eucalipto, que se destaca entre as possíveis fontes de biomassa pelo rápido crescimento da espécie, em torno de 6 a 10 anos. Porém, a queima dessa biomassa resulta numa grande quantidade de cinzas diariamente, em nível industrial. Essas cinzas não possuem um destino exato, podendo ser utilizadas em alguns casos como parte de fertilizantes e adubos, dependendo da sua composição química, porém na maioria das vezes são destinadas a aterros, gerando custos para a empresa e acúmulo de resíduos para o meio ambiente.

Devido a essa falta de um destino adequado, buscam-se maneiras de reaproveitar esse resíduo. Uma das muitas vertentes estudadas é a utilização das cinzas em processos de tratamento de água, como biossorventes de resíduos indesejados, como a dipirona.

Outra vertente comum e atual é o estudo da utilização de cinzas de biomassas como agregado para matrizes cimentícias, dentre elas a casca de arroz, o bagaço da cana, etc., de acordo com as características que a cinza apresenta. Quando se constata que a cinza apresenta características pozolânicas, utiliza-se como adição

mineral, por exemplo. Mesmo que não apresente essas características pozolânicas, as cinzas ainda podem ser utilizadas para melhorar alguns aspectos das matrizes cimentícias quando utilizadas como fíler.

A utilização das cinzas de cavaco de madeira, residuais de caldeiras, como biossorvente já é uma forma de reaproveitamento, no entanto, como a biossorção ainda produz resíduos que podem ser destinados à outras atividades, o foco deste trabalho foi estudar como as características pozolânicas dessas cinzas são afetadas com a incorporação da dipirona, após a biossorção.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

- Verificar a influência do processo de bioissorção de dipirona nas características pozolânicas das cinzas de eucalipto residuais de caldeira industrial a fim de reutilizá-las como substituição parcial de cimento Portland na confecção de argamassa.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Realizar testes de caracterização nas cinzas pré-bioissorção e nas pós-bioissorção: Umidade, Perda ao Fogo, Massa Específica e Chapelle Modificado;
- Analisar a influência do processo de bioissorção nas características da cinza de eucalipto em ambas as etapas (pré e pós bioissorção), comparando-as quanto à possibilidade de utilização como adição mineral na confecção de argamassa.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Contaminantes de preocupação emergente

Contaminantes de preocupação emergente são substâncias sintéticas ou naturais que não são monitorados no meio ambiente, mas com potencial para causar efeitos ecológicos e(ou) para a saúde humana.

Com o desenvolvimento de novas técnicas e equipamentos, torna-se possível, cada vez mais, estudar e quantificar esses contaminantes, produzidos direta ou indiretamente pelas atividades humanas, bem como os danos que essas substâncias ou seus produtos de transformação podem causar ao ecossistema (GEISSEN, et. al. 2015).

Dentre os poluentes emergentes, destacam-se alguns grupos: os fármacos e produtos de higiene pessoal, drogas ilícitas, os pesticidas, os subprodutos de desinfecção e os produtos químicos industriais geralmente utilizados para limpezas. Os efeitos destes contaminantes em águas naturais, apesar de pouco conhecidos, são preocupantes e ligam um alerta em relação a ações contra esse tipo de poluição (GEISSEN. et. al. 2015; ALVES, et. al. 2018).

#### 3.2 Fármacos

Muito consumidos pela população em geral, os fármacos representam uma das maiores preocupações dos cientistas quando se trata de poluentes emergentes, apesar de estarem presentes, geralmente, no meio aquático em baixas concentrações, nas casas de  $\mu\text{g.L}^{-1}$  e  $\text{ng.L}^{-1}$  (SHIHOMATSU, et. al. 2015).

Os fármacos são compostos ativos complexos que, após administrados são absorvidos e distribuídos pelo corpo com o objetivo de promover efeitos biológicos específicos. Devido ao fato de serem parcialmente metabolizados podem ser excretados tanto em sua forma original quanto metabólitos. As principais reações que ocorrem com os fármacos em um organismo são a hidroxilação, epoxidação, redução, hidrólise e adição de grupos funcionais (TAMBOSI, 2008; AQUINO, et. al. 2013).

Dentre os fármacos, os analgésicos e relaxantes musculares são muito utilizados em automedicações, já que são vendidos sem necessidade de receita médica. Nesse grupo, encontra-se a Dipirona sódica ( $\text{C}_{13}\text{H}_6\text{N}_3\text{NaO}_4\text{S.H}_2\text{O}$ ) considerada um anti-inflamatório de ação analgésica e antitérmica (FERNANDES et. al. 2012).

### 3.3 Tratamento de efluentes

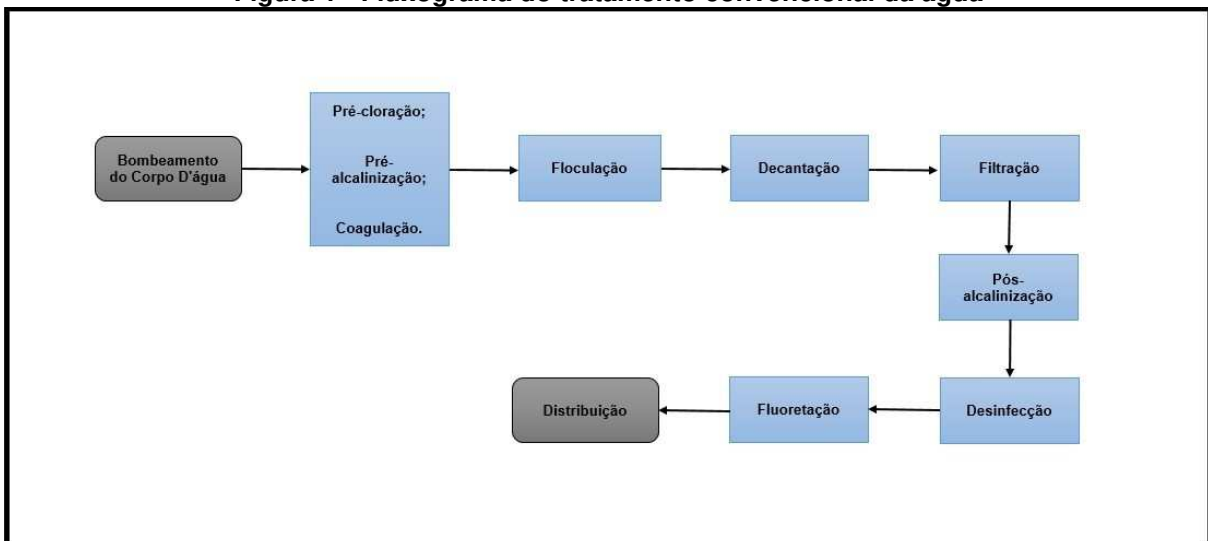
O avanço da civilização em meios físicos antes inabitados e, os impactos deste avanço, têm sido assunto de discussão cada vez mais recorrentes em todos os meios de comunicação, populares e científicos. Especialmente relacionando a influência do avanço tecnológico e os respectivos danos causados ao meio ambiente (FUNTOWICZ, 2000).

Quando se discute sobre cuidados com o meio ambiente é inegável que um tema que aparece instantaneamente nos debates é a poluição da água, um recurso vital para nós, seres humanos. O tema água e sua relação com a saúde humana não é uma discussão recente, segundo Cairus e Ribeiro Jr. (2005), e data seus primeiros registros na segunda metade do século V. Assim como a discussão sobre os efeitos dos contaminantes presentes na água e sua relação com as doenças nos humanos, a responsabilidade por fiscalizar a contaminação dos mananciais e, os parâmetros dessa fiscalização e de qualidade da água, também estão sendo atualizados periodicamente pelas autoridades responsáveis por essa fiscalização.

Mais especificamente no Brasil, a legislação sobre normas e o padrão de potabilidade da água é, segundo o Decreto Federal nº 79.367 (BRASIL, 1977), de 9 de março de 1977, de competência do Ministério da Saúde, que, no dia 14 de março do mesmo ano, estabeleceu o primeiro padrão de potabilidade brasileiro, com a publicação da Portaria BSB nº 56 (BRASIL, 1977). Desde então, foram feitas várias revisões destas portarias e, algumas outras ações e órgãos foram criados para melhorar a qualidade deste recurso tão importante. A mais recente portaria que trata da potabilidade de água para consumo humano foi a PORTARIA GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (BRASIL, 2021).

Para atender os quesitos mínimos de potabilidade de água, as estações de tratamento realizam diversos processos desde a coleta da água até o produto final que será disponibilizado para consumo humano. Em geral, as estações de tratamento convencionais, como o da Figura 1, utilizam processos que não são eficientes na remoção dos contaminantes emergentes, necessitando unificar-se a um tratamento avançado para sua eliminação.

**Figura 1 - Fluxograma do tratamento convencional da água**



Fonte: autoria própria (2022).

Segundo Sabesp, 2021, cada etapa do fluxograma pode ser descrito como:

- Pré-cloração: consiste na adição de cloro assim que a água chega à estação de tratamento;
- Pré-alcalinização: ajuste do pH da água utilizando bases como a cal ou a soda. O padrão exigido para essa etapa é pH entre 6,0 e 9,5;
- Coagulação: adição de agentes coagulantes e forte agitação na água, para desestabilizar eletricamente os poluentes;
- Floculação: com desestabilização elétrica dos poluentes, nessa etapa o objetivo é agregá-los e provocar a formação de flocos;
- Decantação: processo físico em que os flocos formados na etapa anterior decantam e são retirados da água;
- Filtração: nessa etapa, já livre das sujeiras mais pesadas, a água passa por um filtro composto de pedras, areia e carvão antracito;
- Pós-alcalinização: nova correção do pH da água;
- Desinfecção: adição de cloro para garantir que a água chegue ao consumidor livre de microrganismos;
- Fluoretação: adição de flúor à água.

### 3.4 Biossorção

A biossorção é um processo de separação alternativo, que consiste na ligação entre duas fases, uma líquida composta por um solvente e um adsorvato dissolvido e, uma sólida, composta pela biomassa. É baseada em diversos

mecanismos que não são afetados pelo metabolismo da biomassa e, diferem-se qualitativa e quantitativamente, de acordo com a origem da biomassa e seu processamento (PIETROBELLI, 2007). Dentre os mecanismos, podemos citar, segundo Silva, et. al. 2014 e Barros, et. al. 2017:

- Complexação: duas ou mais espécies se associam em um complexo;
- Coordenação: um átomo central se liga com outros átomos;
- Quelação: os complexos se unem por pelo menos dois sítios;
- Troca iônica: quando uma troca de íons forma um complexo;
- Adsorção: quando acontece a sorção na superfície do tecido orgânico;
- Precipitação inorgânica: meio aquoso se modifica e precipita o despejo.

### **3.5 Biomassa**

Segundo Carioca e Arora, José Osvaldo Bezerra D. SC. e Harbans Lal Ph D. (1984), biomassa é toda matéria orgânica, de origem vegetal ou animal, podendo ser classificada nos seguintes grupos:

- Recursos Florestais, natural ou plantada;
- Culturas energéticas envolvendo espécies, como as Sacarídeas (cana de açúcar, beterraba, etc), as Amiláceas (mandioca, batata doce, etc) e as Oleaginosas (soja, girassol, mamona, etc);
- Fitomassa Aquática;
- Resíduos agropastoris;
- Resíduos Orgânicos industriais;
- Resíduos Urbanos sólidos e líquidos.

A cinza resultante da queima do cavaco eucalipto, é um resíduo orgânico industrial que, assim como outras fontes de biomassa florestal é uma das primeiras demonstrações da espécie humana de uma conversão de um tipo de energia para outra, quando as civilizações mais antigas descobriram o fogo e utilizavam a madeira para manter ou aumentar o calor (FOELKEL, Celso. 2016).

Além disso, as biomassas florestais são fortemente influenciadas por outros fatores, como o teor de umidade, densidade aparente (peso seco por unidade de volume) e a densidade energética (resultante do poder calorífico útil e da densidade aparente) (FOELKEL, 2016).



Por esses motivos, é necessário que a biomassa passe por diversos processos para que seja devidamente preparada para o uso. Dentre esses processos, estão: a secagem, a moagem ou picagem, a classificação, a densificação e a separação dos componentes que não são desejados (ESPER, 2016).

### 3.6 Cinzas residuais

As cinzas de caldeira são um tipo de resíduo industrial abundante resultante da queima de uma biomassa, na maioria das vezes a lenha, para produção de energia.

As cinzas resultantes da queima de biomassa em caldeiras industriais são compostas por vários elementos que não são significativos para a combustão, mas podem agregar de maneira importante em outros processos (SILVÉRIO e HORN, 2013).

Em geral, as cinzas são compostas por três tipos de partículas:

- Material orgânico ou carbono não queimado: é o resíduo dos materiais lignocelulósicos, que varia diretamente com a quantidade de água presente na biomassa e com a eficiência da combustão (CORDEIRO, et. al. 2008; HWANG, et. al. 2002);
- Silicatos: o dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ) é o principal componente das cinzas (cerca de 60% das cinzas) e são derivadas de areia e quartzo, componentes que se fazem presentes desde a lavoura (AHMARUZZAMAN, 2010; HWANG, et. al. 2002);
- Cenosferas: são agregados de espécies de óxidos de diferentes metais formados durante a queima que, representam cerca de 32% das cinzas (ROHATGI, et. al. 2009; VASSILEV e VASSILEVA, 2007).

Devido à presença de silicato em sua composição, as cinzas de caldeira podem apresentar característica pozolânica, que segundo Dal Molim (2011), são materiais silicosos ou sílico-aluminosos, que originalmente apresentam pouca ou nenhuma propriedade cimentante, mas quando divididos em partículas finas e na presença de umidade reagem com o hidróxido de cálcio formando compostos com essa propriedade cimentante.

Existem algumas formas de destinar essa cinza residual, em que, alguns fatores devem ser avaliados. O primeiro deles é a viabilidade econômica, onde busca-se agregar valor a esses resíduos de acordo com suas valências químicas e estruturais, levando também em consideração toda a logística que será empregada

para essa reutilização. A economia da região, distância de aterros, quantidade de indústrias que possam utilizar esse resíduo e a busca por reduzir os impactos ambientais gerados, completam a lista de fatores que devem ser levados em conta para definir o destino das cinzas (GIMENES, 2012). Na maioria das vezes essas cinzas são descartadas em aterros, mas recentemente, a reutilização desse resíduo em outras áreas como a agricultura (para auxiliar na alcalinização do solo) e na construção civil (como adição mineral para concretos), vêm se destacando (RAMOS, et. al. 2013; BORGES, et. al. 2017).

Diversos estudos já foram realizados sobre as propriedades pozolânicas de diferentes tipos de cinzas, com o intuito de aproveitar o que hoje pode ser considerado um resíduo. Segundo Bezerra, et. al. (2011), as cinzas de casca de arroz apresentaram elevado teor de sílica e um nível superior ao da norma para a atividade pozolânica, além de melhorar a resistência à compressão simples e o desempenho da argamassa de revestimento em relação as argamassas de referência.

Para as cinzas de algaroba, apesar de uma baixa concentração de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e ausência de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  que indica uma baixa atividade pozolânica, a cinza apresentou uma alta alcalinidade, que é positiva para um material cimentício. Além disso, as argamassas que tiveram adição das cinzas apresentaram desempenho pouco superior, sendo que no estado fresco, as argamassas com adições ficaram mais leves e plásticas e, no estado endurecido, percebeu-se um maior empacotamento da estrutura da argamassa, bem como maior resistência à compressão e arranchamento. Tudo isso sem alterar a microestrutura do material (MELO, 2012).

Em seu trabalho, Simoka et. al. (2016) concluiu que as cinzas de lodo agroindustrial também podem ser utilizadas em uma quantidade de até 15% para substituição parcial na argamassa pelo traço cimento/areia. Por não apresentar interferência nas propriedades da argamassa, o fator ambiental já é suficiente para justificar o uso do resíduo na construção civil.

### **3.7 Argamassas**

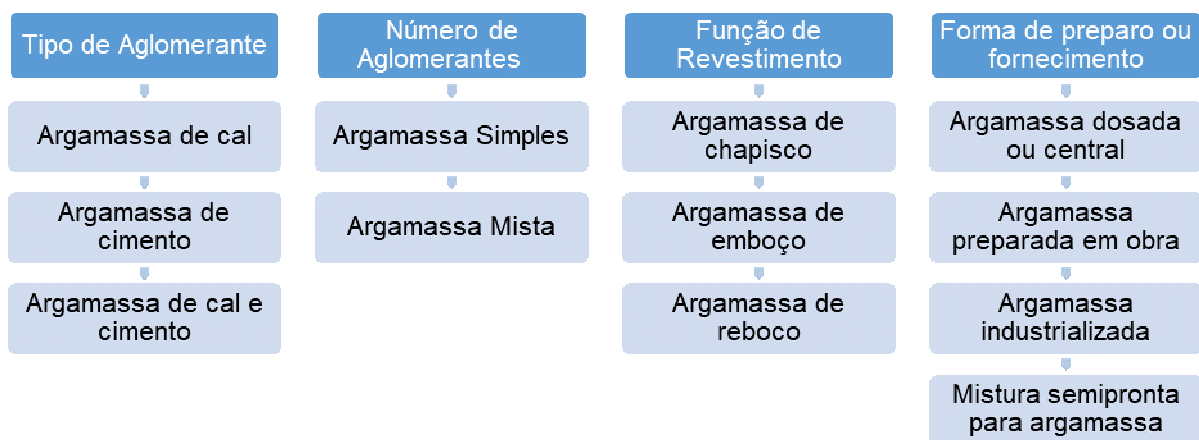
Segundo a ABNT NBR 13281:2005, a argamassa é definida como uma “mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água,

contendo ou não aditivos, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou instalação própria (argamassa industrializada)”.

### 3.7.1 Tipos de argamassa

A argamassa pode ser dividida em diversos tipos e cada um deles possui uma norma regulamentadora. Pela ABNT NBR 13529:2013, as argamassas podem ser classificadas conforme a Figura 2.

**Figura 2 - Tipos de argamassas**



**Fonte: CASTRO, 2015; ABNT NBR 13529:2013.**

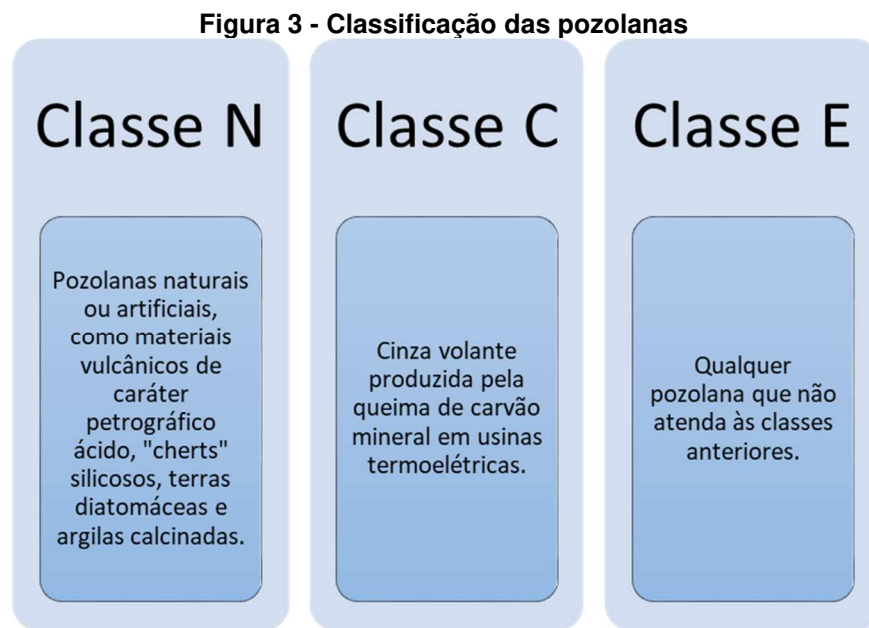
### 3.7.2 Materiais constituintes da argamassa

Os materiais constituintes da argamassa variam de acordo com sua classificação ou destino, mas basicamente são a cal e/ou cimento, um agregado miúdo, água e um aditivo ou adição mineral. Cada tipo de argamassa também possui um traço específico de acordo com o uso. Segundo Malheiro, Meira e Lima (2014), por exemplo, as argamassas com traços, em volume, 1:1:6 (cimento:cal hidratada:agregado miúdo), possuem características piores em relação à penetração de cloretos, quando comparada a argamassa com traços 1:2:9 (cimento:cal hidratada:agregado miúdo), proporção também em volume.

Quando tratamos da reutilização das cinzas de biomassa na produção de argamassa, pensamos diretamente nas adições. Segundo a ABNT NBR 13529:2013, as adições são materiais naturais ou industriais, com características específicas de tamanho de partícula e composição, adicionados às argamassas para modificar suas propriedades.

As adições mais comuns presentes nas argamassas são as pozolanas, que geralmente não apresentam propriedades cimentantes no seu estado natural, mas em contato com a água reagem com o hidróxido de cálcio para, aí sim, apresentarem tais características (MEHTA e MONTEIRO, 2008; CARVALHO JR., 2005).

Para serem utilizados como pozolanas, alguns requisitos, tanto físicos como químicos devem ser atendidos, conforme a Figura 3, adaptada da ABNT NBR 12653:2014.



Fonte: ABNT NBR 12653:2014.

As exigências químicas por sua vez, relacionam as propriedades do material com cada classe da Figura 3, conforme a Tabela 1.

**Tabela 1 - Exigências químicas das pozolanas**

Propriedades	Classes de material pozolânico		
	N	C	E
SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> % mín.	≥ 70	≥ 70	≥ 50
SO <sub>3</sub> , % máx.	≤ 4	≤ 5	≤ 5
Teor de umidade, % máx.	≤ 3	≤ 3	≤ 3
Pedra ao fogo, % máx.	≤ 10	≤ 6	≤ 6
Álcalis disponíveis em Na <sub>2</sub> O, % máx.	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 1,5

Fonte: ABNT NBR 12653:2014.

Quanto às exigências físicas, os parâmetros estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2 - Exigências físicas das pozolanas**

Propriedades	Classes de material pozolânico		
	N	C	E
Material retido na peneira 45 µm, % máx.	≤ 34	≤ 34	≤ 34

<b>Índice de atividade pozolânica:</b>	-	-	-
<b>Com cimento aos 28 dias, em relação ao controle, % mín.</b>	<b>≥ 75</b>	<b>≥ 75</b>	<b>≥ 75</b>
<b>Com o cal em 7 dias, em MPa.</b>	<b>≥ 6</b>	<b>≥ 6</b>	<b>≥ 6</b>
<b>Água requerida, % máx.</b>	<b>≤ 115</b>	<b>≤ 110</b>	<b>≤ 110</b>

**Fonte: ABNT NBR 12653:2014.**

Caso o material não atenda a alguma das normas o material pozolânico deve ser destinado a outros tipos de uso, sendo o mais comum como fíler até um limite de 15% em massa da matriz cimentícia. O fíler também é uma adição, porém sem características pozolânicas, finamente dividido e praticamente não exerce efeito químico na argamassa, somente físico. Responsável por melhorar o empacotamento de partículas e aumentar a compacidade da mistura, além de criar pontos de nucleação para a hidratação dos grãos de cimento (BREKAILO, 2017; CORDEIRO, 2006; DAL MOLIN, 2011).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Os testes foram realizados nos laboratórios de Operações Unitárias, Química Instrumental e Processos de Separação e Tecnologia Ambiental (PSTA), localizados na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Ponta Grossa, nos Laboratórios de Saneamento e Instalações Hidráulicas e CLABMU - Complexo Multiusuários da Universidade Estadual de Ponta Grossa, de acordo com a disponibilidade e/ou necessidade de equipamentos.

Este trabalho foi realizado em conjunto com a dissertação de mestrado que está sendo desenvolvida pela minha coorientadora B.Sc. Luiza Lascosk no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Sendo assim, as amostras de cinzas de cavaco de eucalipto, pré e pós-biossorção, utilizadas neste trabalho são resultantes dos experimentos desta dissertação e foram cedidas por uma grande indústria da região dos Campos Gerais/PR.

### 4.1 Preparo das amostras de cinzas

As cinzas *in natura* foram peneiradas e somente o montante passante na peneira nº 200, de diâmetro 0,075 mm, foi utilizado. As cinzas pré-biossorção, são as que não foram utilizadas no processo de biossorção de dipirona presente em água, realizado pela coorientadora deste trabalho em sua pesquisa de mestrado, sendo preparada apenas com o peneiramento. Já as cinzas pós-biossorção, que também foram peneiradas previamente, foram utilizadas no processo de biossorção da dipirona e, após isso, secas a 30 °C em estufa de circulação até que sua massa fosse estabilizada.

### 4.2 Umidade

O procedimento foi realizado seguindo a NBR NM 24 (ABNT, 2002). Primeiramente pesou-se em balança analítica de precisão 0,0001 g cada um dos 4 cadinhos de porcelana, limpos e secos e, em seguida, na mesma balança, adicionou-se aproximadamente 1 g das amostras de cinzas, pré e pós-biossorção, individualmente e em duplicata. Posteriormente, os cadinhos foram colocados na estufa à temperatura de 105 °C e mantidos por 30 minutos, até que foram retirados e resfriados à temperatura, em um dessecador, quando foram pesados novamente. O

processo foi repetido a cada 10 minutos após esse primeiro período de 30 minutos, até que a massa não variasse mais que 0,001 g entre as medições.

### 4.3 Perda ao fogo

O procedimento foi realizado de acordo com a norma NBR NM 18 (ABNT, 2004). Para isso, mediu-se a massa, em balança analítica de precisão de 0,0001 g, de cada um dos 6 cadinhos de porcelana limpos e secos, adicionando-se, em seguida,  $1 \pm 000,1$ g de amostra de cinzas, pré e pós-biossorção, individualmente e em triplicata. Os cadinhos contendo a amostra foram colocados na Mufla e calcinados por 50 minutos à temperatura de 950 °C. Em seguida, foram resfriados em dessecador por aproximadamente 30 minutos e tiveram sua massa medida novamente. Dessa maneira, foi possível obter a diferença de massa antes e após a calcinação.

### 4.4 Massa específica

O experimento foi uma adaptação da ABNT NBR 16605:2017 (ABNT, 2017).

Utilizou-se a técnica conhecida como picnometria para determinar a massa específica das cinzas. O teste foi feito em duplicata com cada amostra variável da cinza.

Para cada teste, pesou-se, em balança analítica de precisão de 0,0001 g, um picnômetro vazio e seco ( $P_0$ ). Posteriormente uma quantidade entre 10 e 15 gramas de cinzas foi adicionada ao picnômetro que foi pesado novamente ( $P_1$ ). Após a segunda pesagem, o picnômetro foi preenchido com água até a metade e mantido em repouso para que a cinza decantasse no fundo da vidraria. Em sequência, o picnômetro foi preenchido até o máximo de sua capacidade e colocado em banho com água por 30 minutos, até que sua temperatura se estabilizasse a 24 °C. Já estabilizado, o picnômetro foi seco em sua parte externa e pesado pela terceira vez, contendo cinza e água ( $P_2$ ). Por fim, após a terceira pesagem, o mesmo picnômetro foi pesado seco e vazio novamente, preenchido até o limite com água destilada, estabilizado a 24 °C em banho por 30 minutos para que sua massa fosse medida somente com água ( $P_3$ ).

Os valores de  $P_0$ ,  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  obtidos permitiram calcular a massa específica da cinza de caldeira utilizando a equação (1):

$$\text{Massa específica} = \frac{(P1 - P0)}{(P3 - P0) - (P2 - P1)} \quad (1)$$

#### 4.5 Teor de hidróxido de cálcio fixado (Chapelle modificado)

Conforme a NBR 15895 (ABNT, 2010), o método de Chapelle modificado foi utilizado para calcular a atividade pozolânica por meio da determinação do teor de hidróxido de cálcio fixado.

Foram calcinados 4 g de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) previamente pesados em balança analítica de precisão de 0,0001 g em cada um dos 6 cadinhos de porcelana, durante 1 hora em mufla com temperatura de 1000 °C e, resfriado em dessecador por 30 minutos. Após o resfriamento, foi pesado 2 g de CaO e 1 g de amostra de material pozolânico (cinzas), que foram transferidas imediatamente para um frasco de erlenmeyer de 500 mL com tampa rosqueada limpo e seco. Concomitantemente, foi feito o aquecimento de água destilada em chapa aquecedora para retirar o  $\text{CO}_2$  e 250 mL dessa água foi adicionada ao erlenmeyer, junto de um agitador de barra de teflon. Já com o banho metabólico também preparado em 90 °C, o erlenmeyer foi colocado sob agitação e ficou por 16 h nestas condições.

Próximo ao final do tempo de banho, foi preparada uma solução de sacarose de concentração de 240  $\text{g.L}^{-1}$ , que posteriormente foi adicionado ao erlenmeyer contendo o CaO e a amostra de material pozolânico. O erlenmeyer foi então, mantido sob agitação em agitador rotativo por 15 minutos, enquanto as soluções de HCl 0,1  $\text{mol.L}^{-1}$  e fenolftaleína 1  $\text{g.L}^{-1}$  foram preparadas. Após o tempo de agitação, o conteúdo do erlenmeyer foi filtrado com papel filtro pregueado. Por fim, 50 mL da solução filtrada foi pipetada e titulada com o HCl 0,1 mol/L usando a fenolftaleína como indicador, anotando-se o volume gasto na titulação.

O mesmo processo foi repetido para cada triplicata e para o branco.



## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Preparo das amostras de cinzas

As cinzas pré-biossorção e pós-biossorção após o procedimento de preparo apresentaram características visuais semelhantes, mesmo com as cinzas pós-biossorção passando por alguns processos a mais e incorporando a dipirona. Podemos verificar nas Figuras 4 e 5 as cinzas pré-biossorção e pós-biossorção, respectivamente.

**Figura 4 - Cinzas pré-biossorção**



Fonte: autoria própria (2022).

**Figura 5 - Cinzas pós-biossorção**



Fonte: autoria própria (2022).

### 5.2 Umidade

Para calcular a % de umidade de cada amostra, foi utilizada a equação (2):

$$\% \textit{umidade} = \frac{(P_0 - P_f)}{(P_0 - P_c)} \times 100\% \quad (2)$$

Em que,  $P_0$  é massa inicial do cadinho + amostra,  $P_f$  é a massa onde a variação estabiliza e  $P_c$  é a massa do cadinho vazio e seco.

Os resultados obtidos estão expressos na Tabela 3.

**Tabela 3 - % de umidade obtidas**

Teste	Massa Cadinho (g)	Massa Cadinho + Amostra (g)	Massa estabilizada (g)	Tempo (min)	% umidade
T1 - Pré	31,6504	32,6504	32,6297	70	2,1
T2 - Pré	53,0996	54,0996	54,0763	110	2,3
T3 - Pós	34,2599	35,2601	35,2215	90	3,9
T4 - Pós	33,4823	34,4826	34,4419	90	4,1

Fonte: autoria própria (2022).

Em que, T1–Pré representa o primeiro teste com cinzas pré-biossorção, T2–Pré o segundo teste com cinzas pré-biossorção, T3–Pós o primeiro teste com cinzas pós-biossorção e T4–Pós o segundo teste com cinzas pós-biossorção.

Segundo a NBR 12653 (ABNT, 2014), a porcentagem de umidade máxima para que um material seja considerado pozolânico, em qualquer uma das classes, é de 3%. Desta forma, pode-se notar que as cinzas pré-biossorção, apresentam características positivas quanto à pozolanicidade, com média de 2,2%. Porém, após o processo de biossorção, as cinzas não estão dentro dos limites aceitos pela norma citada.

A incorporação da dipirona pela cinza, bem como o tratamento em meio aquoso, mesmo com a devida secagem para os testes, são possíveis causas desse aumento na porcentagem de umidade da cinza. Com isso, a utilização de cinzas após um processo de biossorção de dipirona, necessitam de um tratamento específico para atender à norma de umidade, mas ainda não descarta a possibilidade de utilização como material pozolânico.

### 5.3 Perda ao fogo

Para o cálculo da % de perda ao fogo, foi utilizada a equação (3):

$$\% \textit{de perda} = \left( \frac{P_1 - P_2}{P_1 - P_0} \right) \times 100\% \quad (3)$$

Em que,  $P_0$  é a massa cadinho vazio e seco,  $P_1$  é a massa cadinho + amostra antes da calcinação e  $P_2$  é a massa cadinho + amostra após a calcinação.

O procedimento, realizado em triplicata, apresentou resultados conforme as Tabelas 4 e 5.

**Tabela 4 - % de perda ao fogo pré-biossorção**

<b>Perda Ao Fogo - Pré Biossorção</b>			
<b>Peso Cadinho Vazio e Seco (g)</b>	<b>Peso Cadinho + Amostra antes (g)</b>	<b>Peso Cadinho + Amostra depois (g)</b>	<b>% de perda ao Fogo</b>
43,71	44,71	44,39	32%
42,47	43,47	43,15	32%
48,20	49,20	48,83	37%

Fonte: autoria própria (2022).

**Tabela 5 - % de perda ao fogo pós-biossorção**

<b>Perda Ao Fogo - Pós Biossorção</b>			
<b>Peso Cadinho Vazio e Seco (g)</b>	<b>Peso Cadinho + Amostra antes (g)</b>	<b>Peso Cadinho + Amostra depois (g)</b>	<b>% de perda ao Fogo</b>
41,20	42,20	41,91	30%
40,61	41,61	41,32	29%
39,71	40,71	40,40	31%

Fonte: autoria própria (2022).

A norma que regulamenta a porcentagem de perda ao fogo para classificação de materiais pozolânicos é, também, a NBR 12653 (ABNT, 2014). Materiais do grupo N devem apresentar até 10% de perda de massa ao fogo, enquanto os materiais do grupo C e E podem apresentar no máximo 6%.

Ao analisarmos as amostras pré-biossorção, nota-se uma % média de perda ao fogo de 33,67%, ou seja, mais de três vezes acima do valor permitido. Já a amostra pós-biossorção, apresenta um valor mais baixo, de 30%, em média, ainda assim, três vezes acima do valor permitido para o grupo N, cuja norma é a mais flexível.

Ao comparar os valores entre si, nota-se que houve uma redução de 33,67% para 30%, mas ainda assim, baixo para considerarmos as cinzas estudadas como material pozolânico.

#### 5.4 Massa específica

Com a adaptação do processo da norma proposto pela ABNT NBR 16605:2017 para a picnometria com água, utilizamos a equação (4):

$$\rho = \frac{(P_1 - P_0)}{(P_3 - P_0) - (P_2 - P_1)} \quad (4)$$

Em que,  $\rho$  é a massa específica,  $P_0$  é a massa do picnômetro vazio e seco,  $P_1$  é a massa do picnômetro + massa da amostra de cinzas,  $P_2$  é a massa do picnômetro + amostra de cinzas + água e  $P_3$  é a massa do picnômetro + água.

Assim, determinou-se a massa específica pré-biossorção e pós-biossorção, conforme os Tabelas 6 e 7.

**Tabela 6 - Massa específica pré-biossorção**  
**Pré-biossorção**

Peso (g)	Teste 1	Teste 2
P0	92,35	92,26
P1	102,50	102,46
P2	210,05	210,06
P3	204,68	204,33
$\rho$	2,12	2,28

Fonte: autoria própria (2022).

**Tabela 7 - Massa específica pós-biossorção**  
**Pós-biossorção**

Peso (g)	Teste 1	Teste 2
P0	92,40	92,38
P1	102,65	102,57
P2	210,11	209,76
P3	204,28	204,31
$\rho$	2,32	2,15

Fonte: autoria própria (2022).

As cinzas pré-biossorção apresentaram massa específica média de  $2,200 \text{ g.cm}^{-3}$ , enquanto as cinzas pós-biossorção  $2,235 \text{ g.cm}^{-3}$ . Com essa diferença mínima, considera-se que o processo de biossorção não afetou a massa específica das cinzas.

Como não existe uma norma para massa específica de materiais pozolânicos, costuma-se comparar os resultados com outros materiais semelhantes que foram caracterizados anteriormente.

Gluitz e Marafão (2013), obtiveram a massa específica de  $2,63 \text{ g.cm}^{-3}$  para cinzas da madeira de eucalipto, pouco acima do valor encontrado neste trabalho. Para Resende (2013), que também mediu a massa específica das cinzas de cavaco de eucalipto em diferentes estados, a cinza *in natura* apresentou massa específica de  $1,112 \text{ g.cm}^{-3}$ , a cinza moída de  $1,971 \text{ g.cm}^{-3}$  e a cinza requeimada de  $2,38 \text{ g.cm}^{-3}$ . Ao compararmos esses valores com os obtidos neste trabalho, devemos levar em consideração que somente a porção de cinzas passante na peneira de  $0,075 \text{ mm}$  foi utilizada para a biossorção e, com homogeneização do tamanho das partículas para essa medida, a compactação da cinza e aumento da massa específica era esperado.

### 5.5 Teor de hidróxido de cálcio fixado (Chapelle modificado)

Seguindo a metodologia de Chapelle modificado, fez-se necessário utilizar a equação (5) para cálculo da atividade pozolânica por meio de determinação de teor de hidróxido de cálcio fixado.

$$I_{Ca(OH)_2} = \frac{28 \cdot (V_3 - V_2) \cdot F_c}{m_2} \cdot 1,32 \quad (5)$$

Em que,  $m_2$  é a massa de material pozolânico (g),  $V_2$  é o volume de HCl 0,1 mol.L<sup>-1</sup> consumido no ensaio da amostra (mL),  $V_3$  é o volume de HCl 0,1 mol.L<sup>-1</sup> consumido no ensaio do branco (mL),  $F_c$  é o fator de correção do HCl para uma concentração de 0,1 mol.L<sup>-1</sup> e 1,32 é a relação molecular Ca(OH)<sub>2</sub>/CaOH.

**Tabela 8 - Teor de hidróxido de cálcio fixado (Chapelle modificado)**

	Branco	Cinzas Pré-biossorção	Cinzas Pós-biossorção
$m_2$	-	1	1
$V_2$	-	60,85	59,30
$V_3$	62,25	62,25	62,25
$F_c$	1,02	1,02	1,02
1,32	1,32	1,32	1,32
$I_{Ca(OH)_2}$	-	52,78	111,21

Fonte: autoria própria (2022).

Segundo Raverdy et al. (1980), materiais pozolânicos devem consumir no mínimo 330mg de CaO.g<sup>-1</sup> pozolana, correspondente a 436mg de Ca(OH)<sub>2</sub>. Levando em conta esse valor, os resultados apresentados tanto com as cinzas pré-biossorção, quanto com as cinzas pós-biossorção, são significativamente inferiores ao valor de referência.

Ao compararmos com outros tipos de materiais com potencial de utilização como pozolana, por exemplo, a cinza do bagaço de cana-de-açúcar que, segundo Bessa (2011), apresentou valores de consumo de 45 a 48 mg de Ca(OH)<sub>2</sub>.g<sup>-1</sup> pozolana, percebe-se um comportamento parecido de não atendimento ao mínimo necessário para ser caracterizado como material pozolânico. Se compararmos ainda com outros materiais que não são resíduos de queima, como pó de cerâmica vermelha, que segundo Brekailo (2017), apresentou consumo de 395 mg de Ca(OH)<sub>2</sub>.g<sup>-1</sup> pozolana, podemos ter uma indicação de que cinzas de biomassas que passam por queimas têm menos potencial pozolânico do que pós de cerâmicas e pedras.

Para determinar a influência da incorporação da dipirona na pozolanicidade das cinzas de cavaco de eucalipto, precisamos analisar cada uma separadamente em

relação aos requisitos pedidos por normas para materiais pozolânicos. Dessa forma, chegamos à Tabela 9.

**Tabela 9 - Resultados comparados à norma**

<b>Teste</b>	<b>Norma</b>	<b>Cinzas Pré-biossorção</b>	<b>Cinzas Pós-biossorção</b>
<b>Umidade</b>	<b>&lt;3%</b>	<b>2,2%</b>	<b>4%</b>
<b>Perda ao Fogo</b>	<b>&lt;6%</b>	<b>33,67%</b>	<b>30%</b>
<b>Massa Específica</b>	<b>-</b>	<b>2,200 g.cm<sup>-3</sup></b>	<b>2,235 g.cm<sup>-3</sup></b>
<b>Teor de Cálcio Fixado</b>	<b>436 mg</b>	<b>52,78 mg</b>	<b>111,21 mg</b>

**Fonte: Autoria própria (2022)**

Ambas as cinzas não se enquadram dentro dos requisitos para serem classificadas como materiais pozolânicos. Apesar de apresentar umidade e massa específica coerentes com as normas, a cinza pré-biossorção ficou muito distante nos parâmetros de perda ao fogo e teor de cálcio fixado. Já a cinza pós-biossorção, mesmo apresentando valores de perda ao fogo e teor de cálcio fixado melhores que os da cinza pré-biossorção, não se enquadrou em nenhum dos quesitos, com exceção da massa específica.

## 6 CONCLUSÕES

Com os dados em mãos, podemos concluir a cinza pré-biossorção apresenta umidade e massa específica condizentes com os requisitos, já que a umidade está abaixo dos 3% e a massa específica não é determinado um valor em norma, mas condiz com os demais estudos de materiais que se comportam como pozolanas. Porém, quanto a perda ao fogo e teor de hidróxido de cálcio fixado, a amostra está fora dos padrões exigidos por norma, com valores bem acima do indicado para perda ao fogo, e bem abaixo com relação ao Chappelle modificado.

Já para as cinzas pós-biossorção, além dos valores de perda ao fogo e teor de hidróxido de cálcio fixado, que apesar de serem melhores que os das cinzas pré-biossorção, não se encaixam nos requisitos, o teor de umidade também foi superior ao permitido por norma. Somente o valor de massa específica se manteve nos padrões esperados.

Sendo assim, a incorporação da dipirona não teve influência nos valores de massa específica, melhorou de maneira discreta os valores de perda ao fogo e teor de hidróxido de cálcio fixado, mas em contrapartida apresentou maior teor de umidade.

Por fim, vale ressaltar que apesar de não se enquadrarem nos requisitos para utilização na substituição parcial de cimento Portland em argamassas, as cinzas estudadas apresentam potencial à sua utilização como fíler. Para isso, estudos de resistência devem ser realizados para determinar o comportamento da argamassa com adição das cinzas de cavaco de eucalipto como fíler.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 24**: Materiais pozolânicos – Determinação do teor de umidade. Rio de Janeiro, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 18**: Cimento Portland – Análise Química – Determinação de perda ao fogo. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13281**: Argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos – requisitos. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15895**: Materiais pozolânicos – Determinação do teor de hidróxido de cálcio fixado – Método Chapelle modificado. Rio de Janeiro, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13529**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12653**: Materiais pozolânicos - requisitos. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.
- AHMARUZZAMAN, M. **A review on the utilization of fly ash**. Progress in Energy and Combustion Science 2010, 36, 327
- ALVES, T. C.; CABRERA-CODONY, A.; BARCELÓ, D.; RODRIGUEZ-MOZAZ, S.; PINHEIRO, A.; GONZALEZ-OLMOS, R. **Influencing factors on the removal of pharmaceuticals from water with micro-grain activated carbon**. Water Research, [s.l.], v.144, p. 402-412, nov.2018.
- AQUINO, S.F.; BRANDT, E.M.F.; CHERNICHARO, C.A.L. Remoção de fármacos e desreguladores endócrinos em estações de tratamento de esgoto: revisão da literatura. **Revista Eng. Sanitária Ambiental**, [s.l.], v. 18, n. 3, p. 187–204, 2013.
- ARRAIS, P.S.D., FERNANDES, M.E.P., DA SILVA DAL PIZZOL, T., RAMOS, L.R., MENGUE, S.S., LUIZA, V.L., et al. Prevalência da automedicação no Brasil e fatores associados. **Revista Saúde Pública**, [s.l.], v. 50, n. 3, 2016.
- Balço Energético Nacional 2021: Ano base 2020** / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro : EPE, 2021.
- BARROS, D. C.; CARVALHO, G.; RIBEIRO, M. A. Processo de biossorção para remoção de metais pesados por meio de resíduos agroindustriais: uma revisão. **Revista Biotecnologia & Ciência**, Ceres (GO), v.6, n.1, p.01-15, 2017.



BESSA, Sofia Araújo Lima. **UTILIZAÇÃO DA CINZA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR COMO AGREGADO MIÚDO EM CONCRETOS PARA ARTEFATOS DE INFRAESTRUTURA URBANA**. 2011. 182 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

BEZERRA, Izabelle M. T.; SOUZA, Jozilene; CARVALHO, João B. Q. de; NEVES, Gelmires A.. Aplicação da cinza da casca do arroz em argamassas de assentamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 6, p. 640-645, 14 mar. 2011.

BORGES, Diego; VALVERDE, Diego; BIANCHI, Gislaine; AKASAKI, Jorge Luís; TRENTIN, Thiago Francisco Silva. Uso de cinza de madeira de eucalipto em compostos cimentícios, uma alternativa sustentável. **Cidades Verdes**, Tupã, v. 05, n. 11, p. 89-103, 2017.

BRASIL. **Decreto Nº 79.367, de 09 de março de 1977**. Dispõe sobre normas e o padrão de potabilidade de água e dá outras providências. Brasília (DF):Ministério da Saúde, 1977.

BREKAILO, Fernanda. **AVALIAÇÃO DA POZOLANICIDADE DE ADIÇÕES DE PÓ DE CERÂMICA VERMELHA E PÓ DE CONCRETO PROVENIENTE DE RCD E SEU EFEITO MITIGADOR DO ATAQUE POR SULFATOS DE SÓDIO EM BARRAS DE ARGAMASSA**. 2017. 94 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2017.

CAIRUS, H. F.; RIBEIRO JR., W. A. **Textos Hipocráticos: O doente, o médico e a doença**. Rio de Janeiro: ABRASCO, 2005, p. 91-112.

CARIOCA e ARORA, José Osvaldo Bezerra D. SC. e Harbans Lal Ph D. **Biomassa – Fundamentos e Aplicações Tecnológicas** - Departamento de Química Analítica e Físico-Química e Núcleo de Fontes não Convencionais de Energia da Universidade Federal do Ceará, 1984.

CARVALHO JR., A. N. **Avaliação da aderência dos revestimentos argamassados: uma contribuição à identificação do sistema de aderência mecânico**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

CASTRO, Tainara Rigotti de. **ARGAMASSA MISTA COM A CINZA PESADA E A CINZA LEVE DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR: propriedades no estado fresco e endurecido**. 2015. 142 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Urbana, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2015.

CORDEIRO, G. C., **Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concreto**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2006.

CORDEIRO, G. C.; TOLEDO FILHO, R. D.; TAVARES, L. M.; FAIRBAIRN, E. R. M. Pozzolanic activity and filler effect of sugar cane bagasse ash in Portland cement and lime mortars. **Cement & Concrete Composites** 2008, 30, 410.

DAL MOLIN, D. C. C.. Capítulo 8: **Adições minerais**. In: G. C. Isaia. (Org.). Concreto: Ciência e Tecnologia. 1ª Edição. Editora IBRACON. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON, 2011.

ESPER, Alexandre Elias. **APROVEITAMENTO DE BIOMASSA DE MADEIRA COMO FONTE DE GERAÇÃO RENOVÁVEL DE ENERGIA**: estudo de caso. 2016. 58 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

FERNANDES, F.H.A; SANTANA, C.P; SILVA, P.C.D; MELO, C.A; SILVA, P. **Comparação de diferentes formulações contendo dipirona, citrato de orfenadrina e cafeína de fabricantes diferentes por dsc**. VIII Congresso Brasileiro e III Congresso PanAmericano de Análise Térmica e Calorimetria. 01 A 04 de Abril de 2012- Campos do Jordão, SP- Brasil, Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/267984907\\_comparacao\\_de\\_diferentes\\_for\\_mulaco\\_es\\_contendo\\_dipirona\\_citrato\\_de\\_orfenadrina\\_e\\_cafeina\\_de\\_fabricantes\\_diferentes\\_por\\_ds\\_c](https://www.researchgate.net/publication/267984907_comparacao_de_diferentes_for_mulaco_es_contendo_dipirona_citrato_de_orfenadrina_e_cafeina_de_fabricantes_diferentes_por_ds_c).

FIORENTIN, L. D.; MÓDENES, A. N.; ESPINOZA-QUIÑONES, F. R.; TRIGUEROS, D. E. G.; KROUMOV, A. D.; MANENTI, D. R.; BORBA, C. E. Biosorption of the Reactive Blue 5G Dye in a Fixed Bed Column Packed with Orange Bagasse: experimental and mathematical modelling. **Separation Science and Technology**, [s.l.], p.2267-2275, 8 maio 2015. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/01496395.2015.1047453>.

FOELKEL, Celso. 2016. **“Parte 2: Geração de Calor, Vapor e Eletricidade”**. Em *Utilização da Biomassa do Eucalipto para Produção de Calor, Vapor e Eletricidade*, 11-264. EUCALYPTUS ONLINE BOOK. Celsius Degree / Graus Celsius: Negócios em Gestão do Conhecimento. Disponível em: [https://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT44\\_Geracao\\_Calor\\_Vapor\\_Eletricidade.pdf](https://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT44_Geracao_Calor_Vapor_Eletricidade.pdf)

FUNTOWICZ, S.; DE MARCHI, B. Ciência Posnormal, Complejidad Reflexiva y Sustentabilidad, 2000. In: LEFF, E. (ed), **La Complejidad Ambiental**. México: Siglo XXI. 2000. p. 54-84.

GEISSEN, V., et al. Emerging pollutants in the environment: A challenge for water resource management. **International Soil and Water Conservation Research**, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.03.002>

GIMENES, Jacques. **ANÁLISE DA GERAÇÃO, RECUPERAÇÃO E DESTINAÇÃO DE CINZAS EM CALDEIRAS**: o caso de uma indústria. 2012. 97 f. Dissertação (Pós-graduação) - Curso de Economia e Meio Ambiente, Departamento de Economia Rural e Extensão do Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

GLUITZ, Adiana Cristina; MARAFÃO, Daiana. **UTILIZAÇÃO DA CINZA DA MADEIRA DE EUCALIPTO NA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE CIMENTO PORTLAND EM ARGAMASSA**. 2013. 82 f. TCC (Graduação) - Curso de Bacharelado e Licenciatura em Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2013.

HWANG, J. Y.; SUN, X.; LI, Z. Unburned Carbon from Fly Ash for Mercury Adsorption: I. Separation and Characterization of Unburned Carbon. **Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering** 2002, 1, 39.

MALHEIRO, R. M. de C.; MEIRA, G. R.; LIMA, M. S de. Influência da camada do revestimento de argamassa na penetração de cloretos em estruturas de concreto. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 41-55, 2014.

MARCONDES, Josiane Gasparini. **TRATAMENTO DE EFLUENTES**. 2012. 49 f. TCC (Graduação) - Curso de Química, Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis, Assis, 2012.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **CONCRETO: MICROESTRUTURA, PROPRIEDADES E MATERIAIS**. 2. ed. São Paulo: Nicole Pagan Hasparyk, 2008.

MELO, Marcio Couceiro Saraiva de. **ESTUDO DE ARGAMASSAS ADICIONADAS DE CINZAS DE ALGAROBA GERADAS NO ARRANJO PRODUTIVO LOCAL DE CONFECÇÕES DO AGRESTE PERNAMBUCANO**. 2012. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Centro Acadêmico do Agreste, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2012.

OLIVEIRA, J.P.W.; SANTOS, R.N.D.; BOEIRA, J.M. Genotoxicidade e Análises Físico-Químicas das águas do Rio dos Sinos (RS) usando Allium cepa e Eichhornia crassipes como bioindicadores. **BBR - Biochemistry and Biotechnology Reports**, v. 1, n. 1, p.15-22, 2012.

PIETROBELLI, Juliana Martins Teixeira de Abreu. **AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE BIODISSORÇÃO DOS ÍONS Cd (II), Cu (II) E Zn (II) PELA MACRÓFITA EGERIA DENSA**. 2007. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2007.

POTENCIAL FLORESTAL, **A UTILIZAÇÃO DO CAVACO DE MADEIRA DE EUCALIPTO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA**. 2020. Disponível em: <https://potencialflorestal.com.br/cavaco-de-eucalipto-para-a-energia/>. Acesso em: 27 ago. 2021.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Decreto nº 79367, de 09 de março de 1977. DISPOE SOBRE NORMAS E O PADRAO DE POTABILIDADE DE AGUA E DA OUTRAS PROVIDENCIAS.. **Decreto Nº 79.367 de 09 de Março de 1977**. Brasília, 1977.

RAMOS, T., MATOS, A. M., COUTINHO, J. S. **Mortar with wood waste ash: Mechanical strength carbonation resistance and ASR expansion**. LABEST-FEUP – Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Porto, Portugal b FEUP – Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Porto,

Portugal. Disponível em:  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061813007563>.

RESENDE, Domingos Sávio de. **Estudo do efeito da incorporação de cinzas de cavaco de eucalipto como material cimentício suplementar**. 2013. 165 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Materiais, Rede Temática em Engenharia de Materiais, Ouro Preto, 2013.

ROHATGI, K. P.; MATSUNAGA, T.; GUPTA, N. Compressive and ultrasonic properties of polyester/fly ash composites. **Journal of Material Science** 2009, 44, 1485.

SABESP. **Tratamento de água**: fases do tratamento. Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=47>. Acesso em: 27 abr. 2021.

SHIHOMATSU, HELENA M; MARTINS, ELAINE A.J.; COTRIM, MARYCEL E.B.; LEBRE, DANIEL T.; PIRES, MARIA A.F. Avaliação da ocorrência de fármacos nas águas de represas do Estado de São Paulo, SP, Brasil. In: **SAFETY, HEALTH AND ENVIRONMENT WORLD CONGRESS**, 15th, July 19-24, 2015, Porto, Portugal. Proceedings. 2015.

SILVA, J. L. B. C. et al. Biossorção de metais pesados: Uma revisão. **Revista Saúde & Ciência Online**, v. 3, n. 3, p. 137- 149, 2014

SILVERIO, J., HORN, P. A. **Determinação da composição química e aproveitamento de cinzas da queima da lenha de eucalipto para produção de água sanitária ecológica**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em:  
[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/913/1/PB\\_COQUI\\_2012\\_2\\_05.PDF](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/913/1/PB_COQUI_2012_2_05.PDF).

SIMOKA, Bruna Paola de Moraes; REIS, Crisleine Zottis dos; BONI, Hevelin Tabata. Utilização de cinzas de lodo agroindustrial na elaboração da argamassa para construção civil. **Revista Brasileira de Iniciação Científica**, Itapetininga, v. 3, n. 5, p. 158-173, 2016.

TAMBOSI, J.L. (2008) **Remoção de fármacos e avaliação de seus produtos de degradação através de tecnologias avançadas de tratamento**. 141 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

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