# USO DE CINZA DO LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DA INDÚSTRIA DE PAPEL NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSA.

**GRAUPMANN (1), Olaf; GRAUPMANN (2), Susan; (3) MYMRINE, Vsevolod; (4) BROSOWSKY, Liziane Machado**

(1) Doutorando Engenharia Civil, UTFPR, eugraupmann@yahoo.com.br

(2) Mestranda Engenharia Civil, UTFPR, susanhgrau@yahoo.com.br

(3) Docente Pós-Graduação Engenharia Civil, UTFPR, seva6219@gmail.com

(4) Acadêmica Engenharia Civil, UNC, Mafra, lizi2505@hotmail.com

**Resumo:** *A importância desse estudo se refere à grande quantidade de resíduos sólidos que são descartados em lugares na qual geram poluição. No processo de fabricação de papel, é formado o resíduo conhecido como "lodo" o qual é* calcinado*, gerando uma grande quantidade de cinza. O objetivo desse trabalho é apresentar traços para produção de argamassa utilizando cinza. A metodologia utilizada foi a bibliográfica e pesquisa de campo. O primeiro traço utiliza-se 100% de Ca(OH)2 (cal hidratada) que será o traço referência, o segundo traço, será 20% de cinza e 80% de Ca(OH)2, o terceiro com 50% de cinza e do Ca(OH)2, já o quarto e último traço possui 100% de cinza em substituição do Ca(OH)2, sendo assim alguns trações são mistos utilizando cal e cinza. Os traços de argamassa foram compostos por cimento, cal hidratada, areia de rio, cinza e água. Todos os traços foram ensaiados tanto na resistência a compressão e a resistência a tração na flexão. Infere-se que os traços que contem a cinza obtiveram resultados próximos ao que continha apenas cal, portanto, sua resistência é o suficiente para a sua utilização e protegeria o meio ambiente, tirando esse resíduo da natureza.*

**Palavras-chave**: *cinza de papel celulose, argamassa, meio ambiente*.

**Área do conhecimento**: *Tecnologia de componentes para construção.*

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com SOUZA et al. (2016, p.3) atualmente a construção civil além de consumir uma enorme quantidade de materiais naturais, acaba gerando muitos resíduos sólidos causando grande impacto ambiental, portanto a reciclagem e reutilização dos resíduos na construção civil vem sendo de suma importância para diminuir estes impactos ambientais e propiciando a diminuição de passivos ambientais.

Um dos materiais mais utilizado pela sociedade é o papel, usamos no dia a dia em diversas aplicações como para a escrita, impressão, usado em cadernos, jornais, livros, papeis sanitários e etc. Segundo a Associação Brasileira de Celulose e Papel (BRACELPA,2010), são 37 empresas brasileiras associadas em 539 municípios, sendo o Brasil um dos países que mais produzem celulose e papel, ocupando o quarto lugar em produção mundial de celulose e o nono lugar na produção de papel. O setor de celulose tem uma produção de 14,1 milhões de toneladas anuais de e a produção de papel com 9,8 milhões de toneladas anuais.

No processo de fabricação de papel são empregadas várias etapas e uma delas e a separação do lodo que são as impurezas separadas da fibra celulose. Segundo (HARUMI IMAI, 2011, p. 11), na etapa de preparo da massa ocorre a operação de limpeza da receita, cuja finalidade é retirar impurezas, fibras enroladas que são indesejáveis para a aparência e finalidade da folha de papel. Sendo assim o lodo de aparas apresenta característica de uma massa fibrosa de cor acinzentada, sendo classificado como resíduo classe IIA – não inerte (KAWATOKO, 2010, p.69).

De acordo com Wolff et al. (2015, p.283) "a gestão de resíduos sólidos é muito importante da saúde pública, bem como das perspectivas de desempenho socioambiental e industriais, porque continuamente

crescente quantidades de materiais, perigosos ou não perigosos, devem ser descartados de forma segura e econômica ou, de preferência, reciclados. ”

Segundo dados da empresa de Canoinhas – CIA Papel (SC) a cada 1 tonelada de papel celulose são produzidos 0,267 toneladas de resíduos gerados, após executado a incineração do material os mesmos são transportados diariamente, obtendo-se um total de 126 toneladas de cinza a serem depositados em aterro sanitário, este dado por si só demostra à necessidade de encontrar uma destinação adequada para os mesmos. As indústrias de papel celulose produzem muita cinza sendo muito rica em minerais, e muitas vezes são descartadas nos aterros causando poluição.

Lébeis (2003), o aproveitamento do resíduos resultante do processo de fabricação de papel e celulose não sendo cinza, nas argamassa apresentam uma tendência de melhoria na resistência à compressão axial e na resistência à tração, apresentando uma aderência mínima para a execução da argamassa para chapisco, revestimento, sendo indicado em alvenarias de vedação.

O objetivo é apresentar traços para produção de argamassa utilizando cinza oriunda de rejeito sólido proveniente do processamento de papel e celulose, mostrando os comportamentos dos traços no qual há uma substituição parcial de cinza branca. A metodologia utilizada é a bibliográfica e pesquisa campo, conforme aborda autores a utilização de cinzas provenientes de sobras de materiais podem ser utilizados dentro da construção civil com bons resultados.

Para Bezerra et al. (2011) que utilizou cinza de casca de arroz foi caracterizada como um material pozolâmico sendo considerada adequada para o uso como aglomerantes na produção de argamassa, tendo como conclusão que traz um aumento no desempenho da argamassa a composição dessa cinza.

Observa-se que há um alto índice de CaO (mais conhecido como cal viva ou cal virgem) na cinza oriunda dos rejeitos sólidos proveniente do processamento do papel e celulose, esse CaO chega a 48,77 % da massa da cinza a ser trabalhada, podendo assim, ser substituída em proporções a ser estudada na pesquisa a fim de diminuir a demanda de cal virgem extraída da natureza. A cinza não possui umidade significativa, portanto fica fácil de produzir a argamassa com maior controle de umidade.

Tendo por base o exposto acima, a cinza apresenta uma grande vantagem que podem viabilizar a reciclagem do resíduo. Uma das soluções socioambientais pela construção civil é a utilização desse material na produção de argamassa substituindo o índice de Ca(OH)2, com objetivos de reduzir o custo e ainda a redução de poluição ambiental.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Materiais

Utilizou-se cinza branca do processor de calcinação, proveniente processamento do papel e celulose coletado da cidade de Canoinhas localizado no Estado de Santa Catarina, essa cinza se origina da calcinação (queima) do lodo, que é resultante da etapa de limpeza do papel, onde é removido esses resíduos que fazem o papel perder sua qualidade. Esta cinza apresentava-se seca pois passou por um processo de calcinação. Para a caracterização da mesma foi realizado o ensaio de distribuição granulométrica de acordo cm a NBR NM 248 (2003). Para determinar a densidade utilizou-se a determinação de densidade em pó conforme a NBR 13278 (2005) o ensaio foi realizado com querosene e o mesmo possui 2.32 e 2.35 de densidade.

Já para a determinação do peso especifico realizou-se o teste do picnômetro, e em seguida para a determinação da absorção de água foi realizado de acordo com a NBR NB 30 (2001), e por fim foi realizada a análise química semi quantitativa por meio de espectroscopia, utilizando o equipamento PANalytical Axioos Max. Após a classificação da cinza, a mesma foi hidratada durante 24 horas e esta foi utilizada como substituição parcial do aglomerante a Cal hidratada na composição dos traços e um deles foi feita a substituição total da cal. Nota-se que a cinza não possui umidade, ou seja, quando foi submetida ao processo de calcinação ela ficou totalmente seca.

A análise química semi-quantitativa por espectroscopia por fluorescência de raios X (FRX), com o equipamento PANalytical Axioos Max da cinza, com o componente e seu respectivo teor: $SiO_2$ - 8,8; CaO - 55,6; $Al_2O_3$ - 8,3; $Fe_2O_3$ - 0,7; MgO - 0,9; $TiO_2$ - 0,4; $P_2O_5$ - 0,2; $Na_2O$ - 0,1; $K_2O$ - 0,2; Cl - 0,1; ZnO – 0,1; $SO_3$ - < 0,1; MnO - < 0,1; SrO - 0,2; Perda ao Fogo - 23,47.

Nota-se que esta apresenta um teor de (CaO) em sua composição, sendo assim bom para o uso na argamassa, pois um dos seu aglomerantes é CaO, a qual responsável pela resistência da argamassa. A determinação da absorção de água do agregado miúdo e da cinza de acordo com NBR NM 30 (2001). Verificou-se que a absorção de água do agregado miúdo é de 2,3 %, já para a cinza é de 40,2 %.

Os aglomerantes utilizados foram a cal hidratada CH- III, cimento portland CP II-E classe 32. O agregado miúdo utilizado foi a areia do rio Iguaçu localizado na cidade de União da Vitória no Estado do Paraná, sendo classificado segunda a distribuição granulométrica segundo NBR NM 248 (2003), para determinar a seu peso especifico e sua umidade utilizou-se o ensaio do picnómetro e sua determinação da absorção de água de acordo com a NBR NM 30 (2001).

As características químicas, físicas e mecânicas do cimento portland seguem os padrões segundo a NBR 11578 (1997). A cal hidratada deve obedecer a NBR 7175 (2015), que tem os requisitos exigidos da cal ao ser empregada na argamassa.

### 2.2 Dosagem dos traços

A dosagem adotada foi 1:2:8 (cimento: cal: areia) sendo o traço referencial, com as medidas expressas em massa. Após a definição dos traços foi realizada a determinação do índice de consistência conforme a NBR NM 7215 (1996) para verificar a relação de água. A argamassa tem como base ter uma provável resistência à tração na flexão conforme ABNT NBR 13279 (2005)

A próxima etapa foi a porcentagem de cinzas a serem incorporadas no aglomerante, neste caso, 0% (T1), 20% (T2) ,50% (T3) e 100% (T4) de cinzas substituindo na aglomerante Cal hidratada, em relação ao peso deste. A Tabela 1 apresenta os traços adotados.

**Tabela 1: Traços em massa de argamassa moldados com cinza branca provenientes do processo de papel e celulose**

| TRAÇO | RELAÇÃO CIMENTO | RELAÇÃO CAL HIADRATADA | RELAÇÃO CINZA | RELAÇÃO AREIA | RELAÇÃO ÁGUA: CIMENTO |
|---|---|---|---|---|---|
| TR | 1 | 2 | 0 | 8 | 0,15 |
| T2 | 1 | 1,6 | 0,4 | 8 | 0,13 |
| T3 | 1 | 1,0 | 1,0 | 8 | 0,12 |
| T4 | 1 | 0 | 2 | 8 | 0,025 |

Fonte: autores (2018)

### 2.2 Ensaio mecânico

As moldagens dos corpos de prova para a resistência a compressão foram cilíndricas, feita em moldes com dimensão de 50 mm de diâmetro por 100 mm de altura, conforme NBR 7215 (1996) os corpos de prova foram moldados realizando o preenchimento em quatro camadas aplicado 30 golpes em cada, visando o correto adensamento das camadas. Já para a resistência a tração os corpos de prova foram realizados por moldes prismáticos metálicos de 4cm x 4 cm x 16 cm, com um preenchimento de duas camadas e em cada camada aplicando 30 golpes. Após 24h da cura inicial, os corpos de prova foram imersos em um tanque com água e cal hidratada até as datas previstas para a retificação e rompimento, conforme a ABNT NBR 13279 (2005).

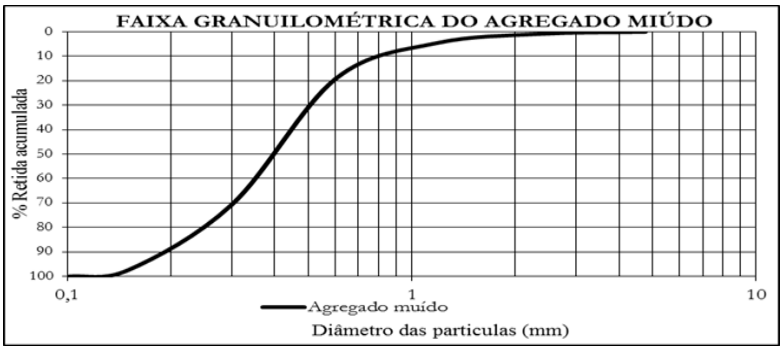
O ensaio de resistência à compressão e tração na flexão foi realizado em uma prensa universal de ensaios, indústria brasileira nº série 003602 e tem referência PEH 100. Para cada amostra, os corpos de prova foram ensaiados aos 24 h, 3, 7, 28 e 91 dias de idade.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 Materiais

A curva de distribuição granulométrica do agregado úmido é apresentada na Figura 1.

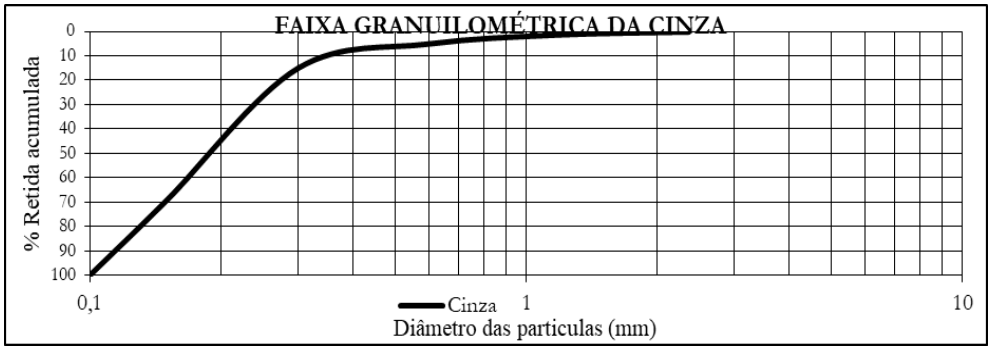
**Figura 1: Distribuição granulométrica do agregado miúdo**




Fonte: autores (2018)

Com base na distribuição granulométrica, podemos então classificar o agregado miúdo como areia muito fina. A curva de distribuição granulométrica da cinza é apresentada na Figura 2.

**Figura 2: Distribuição granulométrica da cinza proveniente do processamento de papel e celulose**




Fonte: autores (2018)

Na tabela 2, verifica-se a caracterização da areia e cinza branca, que foi utilizado no ensaio do frasco de picnómetro.

**Tabela 2: Caracterização da areia de rio e cinza branca utilizando o teste do picnómetro**

| Areia de rio | | Cinza branca | |
|---|---|---|---|
| Massa especifica (g/cm³) | 2,90 | Massa especifica (g/cm³) | 1,94 |
| Peso especifico (N/ m³) | 28,48 | Peso especifico (N/ m³) | 19,05 |

Fonte: autores (2018)

Após feito a caracterização dos materiais foi realizado o ensaio FRX e apresentou-se a seguinte composição química da cinza branca:

**Tabela 3: Composição química da cinza branca**

| COMPONENTE | TEOR (%) |
|---|---|
| SiO2 | 8,8 |
| CaO | 55,6 |
| Al2O3 | 8,3 |
| Fe2O3 | 0,7 |
| MgO | 0,9 |
| TiO2 | 0,4 |
| P2O5 | 0,2 |
| Na2O | 0,1 |
| K2O | 0,2 |
| Cl | 0,1 |
| ZnO | 0,1 |
| SO3 | 1,0 |
| CuO | < 0,1 |
| MnO | < 0,1 |
| SrO | 0,2 |
| Perda ao Fogo | 23,47 |

Fonte: autores (2018)

Nota-se que está apresenta um teor de (CaO) em sua composição, sendo assim bom para o uso na argamassa, pois um dos seu aglomerantes é CaO, sendo responsável pela resistência da argamassa. A determinação da absorção de água do agregado miúdo e da cinza de acordo com NBR NM 30 (2001). Verificou-se que a absorção de água do agregado miúdo que é de 2,3 %, já para a cinza é de 40,2 %.

3.2 Ensaio mecânico

Os resultados obtidos com o ensaio de resistência à compressão dos corpos de prova são apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4: Resistência à compressão dos corpos de prova nas idades de 24 h, 3, 7, 28 e 91 dias**

| TRAÇO | RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 24 horas | 3 dias | 7 dias | 28 dias | 91 dias |
| TR | 1,49 | 1,95 | 2,59 | 3,29 | 3,49 |
| T2 | 0,59 | 1,95 | 2,39 | 3,25 | 3,99 |
| T3 | 0,59 | 0,95 | 2,45 | 2,79 | 4,44 |
| T4 | 0,75 | 1,10 | 2,05 | 3,05 | 3,31 |

Fonte: autores (2018)

Os resultados obtidos com o ensaio de resistência à tração na flexão dos corpos de prova são apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5: Resistência à tração na flexão dos corpos de prova nas idades de 24 h, 3, 7, 28 e 91 dias**

| TRAÇO | RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO (MPa) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 24 horas | 3 dias | 7 dias | 28 dias | 91 dias |
| TR | 4,36 | 8,04 | 8,59 | 10,56 | 11,87 |
| T2 | 3,22 | 7,12 | 8,49 | 9,41 | 9,78 |
| T3 | 4,36 | 7,8 | 8,49 | 8,59 | 8,62 |
| T4 | 2,75 | 5,28 | 6,60 | 8,96 | 9,97 |

Fonte: autores (2018)

Com base nas resistências acima podemos verificar que a resistência à compressão, no traço T4 que foi utilizado 100% de cinza oriunda do processamento de calcinação de papel e celulose nas primeiras 24 horas, 3,7,28 dias ele ficou mais abaixo mais aos 91 dias ele chegou em sua resistência máxima ficando próximo ao traço referencial. O traço T2 que foi utilizado 20% de cinza aos 91 dias também obteve bons resultado ultrapassando o traço referencial. Já o T3 mostrou que possui melhor resistência que ao traço referencial ultrapassando-o.

Na resistência a tração na flexão podemos verificar que o traço T4 foi o mais próximo ao traço referencial, tendo uma diferencia mínima se tratando que foi reutilizado um material. E também podemos verificar que os traços T2 e T3 também atenderam a resistência.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Aponta-se que a cinza proveniente de papel celulose possui um grande teor de (CaO) em sua composição química, que pode ser substituída pela Ca(OH)2 (cal hidratada), pois esse reagente é responsável em dar resistência a argamassa.

Os traços apresentados, na resistência de compressão, tiveram uma diferença de menos de 5% em relação a resistência do traço de 100% de cal hidratada. Nesse ensaio o traço T3 apresentou uma resistência maior que do traço de referência. Já no ensaio de tração a flexão, os melhores traços com a utilização da cinza apresentaram uma diferença de aproximadamente 18% a menos que a resistência em comparação com o traço base.

Para a resistência a compressão o Traço 4 ficou próximo ao traço referencial, pode-se afirmar que apresenta vantagem em substituir o agregado pois nesse traço utilizou a substituição total, ou seja, 100% de cinza. Para a resistência à tração na flexão, o teor de 100% da cinza como substituição também apresentou o valor mais elevado na resistência final apresentando 91 dias entre os três traços utilizados para a comparação, e o valor é próximo ao traço de referência, sendo assim a cinza branca proveniente da calcinação do lodo do

processo de fabricação do papel melhorou à resistência.

Conclui-se que a reutilização e reciclagem dos resíduos da construção civil trazem inúmeros benefícios econômicos e ambientais, e após análise dos resultados todos os traços, com a utilização de 20%, 50% e 100% de cinza atenderam a resistência mínima de 3,5 MPa da norma ABNT NBR 13279/2005 de resistência a tração na flexão da argamassa então pode ser utilizado a cinza proveniente dos rejeitos sólidos da indústria de papel e celulose (lodo) na substituição da CaO (cal hidratada).

## 5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro. 2003.

_____ NBR 13278: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro. 2005.

_____ NBR NM30: Agregado miúdo - Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro. 2001.

_____ NBR 11578: Cimento Portland Composto. Rio de Janeiro. 1991.

_____ NBR 7175: Cal hidratada para argamassas - Requisitos. Rio de Janeiro. 2015.

_____ NBR 7215: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro. 1996.

_____ NBR NM 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro. 2005.

BEZERRA, Izabelle M.T et al. Aplicação da cinza da casca de arroz em argamassa de assentamento. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Disponível em < http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v15n6/v15n06a15.pdf.> Acesso jun de 2019.

BRACELPA – ASSOCIAÇÃO DE CELULOSE E PAPEL.- Relatório de Sustentabilidade 2010. Disponível em: < file:///C:/Users/User/Desktop/TCC/02sustentabilidade%20BRACELPA.pdf > Acesso em jun de 2019.

HARUMI IMA, Mariana. Aproveitamento energético do lodo de etei de indústria de papel no município de correia pinto/SC.. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal de Santa Catarina Centro Tecnológico - Ctc, Correia Pinto, Santa Catarina, 2010.

KAWATOKO, Ivie Emi Sakuma et al. Tratamento do lodo gerado na indústria de reciclagem de papel por compostagem. Presidente Prudente/SP. Disponível em: file:///C:/Users/User/Desktop/TCC/4617-15171-1-SM.pdf, 2010. Acesso em maio de 2019.

LÉBEIS, Vinicius. D.L. Viabilidade do uso de resíduo da fabricação do papel em argamassas. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2003.

SOUZA et al. A importância da reciclagem do papel na melhoria da qualidade do meio ambiente: XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, p.06, João Pessoa/PB,2016.

WOLFF, Eliane et al. Utilization of water treatment plant sludge in structural ceramics, Disponível em: file:///C:/Users/User/Desktop/TCC/Artigos%20Traduzidos/Utilização%20de%20lodo%20de%20tratamento%20de%20água%20na%20cerâmica%20estrutural.pdf. Acesso em fevereiro de 2019.