

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO  
TOCANTINS**

**CAMPUS PALMAS**

**CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

**MATHEUS FELIPE FOGGIA ALBERNAZ**

**EMPREGO DE RESÍDUOS DE BIOMASSAS ORIUNDOS DE QUEIMA DE  
CERÂMICA VERMELHA EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO  
PORTLAND EM CONCRETO CONVENCIONAL**

**PALMAS**

**2019**

**MATHEUS FELIPE FOGGIA ALBERNAZ**

**EMPREGO DE RESÍDUOS DE BIOMASSAS ORIUNDOS DE QUEIMA DE  
CERÂMICA VERMELHA EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO  
PORTLAND EM CONCRETO CONVENCIONAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para obtenção do Título de Engenheiro Civil do Curso Superior de Engenharia Civil do Instituto Federal do Tocantins, *Campus* Palmas.

Área de concentração: Materiais de Construção

Orientador: Prof. Dr. Adriano dos Guimarães de Carvalho

Co-orientador: Esp. André Soares Mendes

**PALMAS**

**2019**

Albernaz, Matheus F. Foggia

Emprego de Resíduos de Biomassas Oriundos de Queima de Cerâmica Vermelha em Substituição Parcial do Cimento Portland em Concreto Convencional. / Matheus Felipe Foggia Albernaz. – Palmas, 2019. 55f.

Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, ciência e Tecnologia do Tocantins – Campus Palmas, 2019.

Orientador: Prof. Dr. Adriano dos Guimarães de Carvalho.

Coorientador: Eng. Esp. André Soares Mendes.

1. Emprego de resíduos de biomassa. 2. Substituição parcial do cimento Portland. 3. Queima de cerâmica vermelha. 4. Concreto convencional. I. Título.

**MATHEUS FELIPE FOGGIA ALBERNAZ**

**EMPREGO DE RESÍDUOS DE BIOMASSAS ORIUNDOS DE QUEIMA DE  
CERÂMICA VERMELHA EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO  
PORTLAND EM CONCRETO CONVENCIONAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para obtenção do Título de Engenheiro Civil do Curso Superior de Engenharia Civil do Instituto Federal do Tocantins, *Campus Palmas*.

Aprovado em: 17 / 08 / 2019

**BANCA AVALIADORA**

---

Prof. Dr. Adriano dos Guimarães de Carvalho (Orientador)  
IFTO – Campus Palmas

---

Prof. Dr. Thiago Dias de Araújo e Silva  
IFTO – Campus Palmas

---

Prof. Ricardo Allen Filgueira Pontes  
IFTO – Campus Palmas

## **AGRADECIMENTOS**

Ao IFTO (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins) e a todos os professores desta instituição, pelo conhecimento, aprendizado, amadurecimento profissional, e pelo espaço cedido para a minha formação acadêmica.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Adriano Carvalho, e ao meu coorientador, Eng. Esp. André Soares, pela dedicação, seriedade, compromisso e posição prestativa ao longo dessa pesquisa.

Aos meus pais, Marco Augusto e Tatyana Kelly, pela confiança, amor e apoio nessa jornada acadêmica, além de exemplo de perseverança para a vida.

Aos meus avós queridos, Marcos e Irailde, Benedito e Goretti, pelo amor, conselhos e incentivo aos estudos.

Aos meus padrinhos, Marcelo e Milena, Adriana e Osiel, pelo carinho, incentivo e ensinamentos.

Ao meu irmão, pelo espírito de fraternidade, mas principalmente, por instigar em mim o espírito de competitividade, em especial nos primeiros semestres da faculdade.

A minha namorada, pelo incentivo, amor, carinho e apoio durante toda esta jornada, mas em especial pela compreensão dos momentos que destinei a faculdade.

Ao laboratório “Controle Engenharia”, em especial ao senhor José Humberto, pela colaboração e parceria na realização dos ensaios desse trabalho.

Ao Pedro Scheid, pela parceria, ensinamentos e auxílio na execução dos ensaios.

Aos meus queridos amigos e parceiros de curso, pelos momentos de felicidade, descontração, estudos, além da amizade e companheirismo.

A todos que de alguma forma contribuíram para que eu chegasse até aqui.

“A melhor maneira de prever o futuro é criá-lo. “

(Peter Drucker)

## RESUMO

O concreto é o material de construção mais utilizado do mundo por isso tem sido alvo de variados tipos de estudos e análises, tornando-o um dos principais materiais na construção civil. Seja para reduzir o consumo, aumentar resistência, evitar desperdícios ou economizar no orçamento, o concreto é o material que mais permite mudanças e adequações no seu preparo. O estudo executado possibilitou a avaliação da substituição parcial do cimento por cinza de biomassa nas características do concreto convencional em seu estado fresco e endurecido. No estado fresco pode-se observar que quando maior a substituição de cinza menor foi a trabalhabilidade do concreto, ou seja, dependendo do tipo de aplicação para este concreto algumas precauções deverão ser tomadas como por exemplo um uso de um aditivo superplastificante ou a mudança de fator água/cimento para água/aglomerante. Já em seu estado endurecido foram ensaiados corpos de provas à resistência à compressão de 28 dias e a resistência a tração por compressão diametral, e foi possível observar que a manutenção de resistência foi observada apenas no traço com 5% de substituição, com leve aumento de resistência, mas nos traços com 10% e 20% de substituição pode-se observar uma redução na resistência dos concretos avaliados. Na resistência a tração os resultados são considerados iguais estatisticamente, mas quando se observa a bibliografia sobre este parâmetro pode-se ver que as resistências à tração alcançadas neste trabalho são bem superiores à dos concretos convencionais. Quanto a absorção de água, este parâmetro acompanhou a resistência à compressão, sendo quanto maior a resistência menor a absorção de cada traço.

## **ABSTRACT**

Concrete is the most widely used building material in the world so it has been the subject of various types of studies and analysis, making it one of the main materials in construction. Whether to reduce consumption, increase strength, avoid waste or save on budget, concrete is the material that most allows changes and adjustments in its preparation. The study carried out made it possible to evaluate the partial replacement of cement by biomass ash in the characteristics of conventional concrete in its fresh and hardened state. In the fresh state it can be observed that the greater the substitution of gray the lower the concrete workability, that is, depending on the type of application for this concrete some precautions should be taken as for example the use of a superplasticizer additive or the change of water / cement factor for water / binder. Already in its hardened state were tested specimens for compressive strength of 28 days and tensile strength by diametral compression, and it was observed that the maintenance of resistance was observed only in the trace with 5% replacement, with slight increase of. resistance, but in the traits with 10% and 20% substitution we can observe a reduction in the resistance of the evaluated concretes. In tensile strength the results are considered statistically equal, but when we look at the literature on this parameter we can see that the tensile strengths achieved in this work are much higher than conventional concretes. As for water absorption, this parameter followed the compressive strength, the higher the resistance the lower the absorption of each trace.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Eucalipto .....	19
Figura 2 - Pinus .....	19
Figura 3 - Reação química e atuação das adições no concreto.....	21
Figura 4 - Micro Estrutura do concreto com adições .....	21
Figura 5 - Metodologia de geração energia a partir da casca de arroz .....	22
Figura 6 - Tipos de areia quanto às dimensões. ....	27
Figura 7 - Britas de dimensões variadas .....	27
Figura 8 - Fluxograma da pesquisa .....	28
Figura 9 - Ensaio de massa específica (cinza) .....	32
Figura 10 - Ensaio de Perda por Ignição .....	33
Figura 11 - Confeção dos corpos de prova de argamassa .....	34
Figura 12 - Rompimento dos corpos de prova de argamassa.....	35
Figura 13 – Abatimento de tronco de cone .....	37
Figura 14 - Microscopia do concreto com adição pozolânica. ....	39
Figura 15 - Corpo de prova na prensa .....	40
Figura 16 - Ensaio de tração por compressão diametral.....	43
Figura 17 - Corpos de prova em secagem na estufa .....	44
Figura 18 - Imersão dos corpos de prova.....	44
Figura 19 - Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto (NBR 6118).....	45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Ensaio físicos e químicos a serem realizados .....	28
Tabela 2 - Traços de concreto a serem desenvolvidos .....	29
Tabela 3 - Ensaio no estado fresco e endurecido do concreto .....	29
Tabela 4 - Traços e quantidade de Corpos de prova .....	30
Tabela 5 - Massa unitária cinza.....	31
Tabela 6 - Massa específica cinza .....	31
Tabela 7 - Determinação de perda por ignição (cinza).....	32
Tabela 8 - Índice de Desempenho com CP .....	34
Tabela 9 - Caracterização física e química do cimento Portland CP II F - 32. ....	35
Tabela 10 - Caracterização da Areia .....	36
Tabela 11 - Caracterização Brita.....	36
Tabela 12 - Resultados Ensaio no estado fresco .....	36
Tabela 13 - Resultados Ensaio de Resistência à Compressão .....	38
Tabela 14 - Comparação das medias por ANOVA/TUKEY .....	40
Tabela 15 - Resultados do Ensaio de resistência à tração por compressão diametral .....	41
Tabela 16 - Comparação das medias por ANOVA/TUKEY .....	42
Tabela 17 - Ensaio de absorção de água por imersão.....	43

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	13
1.1	PROBLEMA	14
1.2	HIPÓTESES	14
1.3	OBJETIVOS	14
1.3.1	Objetivo geral	14
1.3.2	Objetivos específicos	14
1.4	JUSTIFICATIVA	14
<b>2</b>	<b>REFERÊNCIAL TEÓRICO</b>	16
2.1	RESÍDUOS	16
2.1.1	Classes dos resíduos	16
2.2	RESÍDUO INDUSTRIAL	17
2.3	BIOMASSA	18
2.3.1	Eucalipto	18
2.3.2	Pinus	19
2.4	POZOLANAS E REAÇÕES POZOLÂNICAS	20
2.5	CINZAS POZOLÂNICAS AGROINDUSTRIAIS	22
2.5.1	Cinza da casca de arroz	23
2.5.2	Cinza de bagaço de cana de açúcar	23
2.5.3	Cinza de capim elefante	24
2.5.4	Cinza utilizada na pesquisa	24
2.6	CONCRETO	25
2.7	CIMENTO	25
2.8	AGREGADO	25
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	27
3.1	CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DOS REJEITOS	28
3.2	VERIFICAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO E ENDURECIDO	28
3.2.1	Dosagem do Concreto	28
3.3	ANÁLISE DOS DADOS	30
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b>	30
4.1	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	30
4.1.1	Cinza de Biomassa	30
4.1.2	Cimento	35

4.1.3	Agregados .....	36
4.2	Abatimento de tronco de cone .....	36
4.3	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO .....	38
4.4	RESISTÊNCIA A tração por compressão diametral.....	41
4.5	ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO.....	43
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>45</b>
	<b>SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>48</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>49</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo o Ministério de Minas e Energia – MME (2016), 8% da oferta interna de energia elétrica do Brasil vem de biomassa, sendo estas em sua maioria provenientes de lenhas, bagaço da cana, lixo e outras recuperações. O emprego de biomassa como fonte para geração de energia da origem a cinzas, que são resíduos, e como resíduos devem ser tratados adequadamente para que não se tornem potenciais problemas ambientais.

Dentre os subprodutos utilizados como biomassa pode-se citar a casca de arroz, bagaço da cana e o capim elefante, as cinzas destes subprodutos agroindustriais contém uma representativa quantidade de sílica amorfa devido à extração de ácido orto-silícico da água subterrânea pela planta e suas cinzas podem ser economicamente atraentes para produção de pozolana (CORDEIRO; SALES, 2014).

Portanto tendo em vista o potencial pozolânico destas cinzas geradas na queima, biomassa diversas pesquisas vem sendo desenvolvidas com aplicação das mesmas em substituição parcial do cimento Portland (CORDEIRO; SALES, 2016; DEMIS; TAPALIS; PAPADAKIS, 2014), e, tem como maior objetivo uma redução no consumo de cimento, visando a diminuição do fator clínquer<sup>1</sup>.

Todavia, existem aspectos desfavoráveis agregados ao concreto quanto a sua utilização em tão grande proporção, sendo os grandes problemas ambientais relacionados a produção de cimento, acima de tudo concernente a geração de gases maximizadores de efeito estufa e consumo de materiais não renováveis (agregados naturais) (SALES, 2012). A mencionada autora diz também que a maneira da construção civil colaborar para a redução da emissão de CO<sub>2</sub> seria com a diminuição do consumo de cimento ou substituição parcial do mesmo por outros materiais de menor impacto ambiental, como o uso de cinzas de biomassa geradas nas mais diversas atividades, sendo a principal a geração de energia.

<sup>1</sup> Fator Clínquer é a poluição causada pela obtenção do clínquer, principal matéria prima da fabricação do cimento.

## **1.1 PROBLEMA**

É possível produzir concreto com substituição parcial do cimento Portland por resíduos de biomassas que possam ser utilizados para fins estruturais?

## **1.2 HIPÓTESES**

- a) As adições dos resíduos de biomassas podem ajudar na redução do consumo de cimento
- b) Os resíduos de biomassas podem ser usados como substitutos do cimento Portland

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivo geral**

Avaliar a produção de concreto com baixo consumo de cimento por meio da substituição parcial do cimento por resíduos de biomassas oriundos da queima de cerâmicas vermelhas.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- a) Caracterizar os materiais utilizados na confecção dos traços de concreto;
- b) Verificar as características do concreto com os resíduos de biomassas no estado fresco e endurecido;
- c) Avaliar a possibilidade da substituição do cimento pela cinza contribuindo para a redução do fator clínquer.

## **1.4 JUSTIFICATIVA**

Considerando que o custo de eliminação das cinzas de biomassa e dos volumes de cinzas de biomassa está a aumentar a nível mundial, tem que ser estabelecida uma gestão sustentável das cinzas. Além disso, a exploração da indústria de cimento / concreto de cinzas agroindustriais pode ser uma atividade atraente para vários países que usam grandes volumes de casca de arroz, óleo de palma e bagaço de cana como biomassa em processos de co-geração de energia como China, Índia, Brasil e Tailândia (DEMIS; TAPALIS; PAPADAKIS, 2014).

A utilização de cinzas de biomassa a partir de subprodutos agroindustriais contendo grandes quantidades de sílica sob forma amorfa na fabricação de cimento e / ou na produção de concreto pode ser uma solução alternativa para a incorporação dos materiais de cimentação suplementares (MCSs) usados tradicionalmente (DEMIS; TAPALIS; PAPADAKIS, 2014). Ainda de acordo com estes autores os subprodutos industriais, tais como escória de alto-forno, cinzas volantes e fumos de sílica foram utilizados como materiais de substituição de cimento, tanto na produção de clínquer como na substituição parcial de cimento Portland em argamassas e concreto nos últimos 25 anos.

“O setor da indústria pesada, como a produção de aço e cimento, é uma das principais fontes de emissões de gases com efeito de estufa. Em conjunto, as indústrias de aço e cimento representaram 8% da utilização global de energia e 15% das emissões globais de CO<sub>2</sub> antropogênicas em 2012 (IEA, 2015, apud VAN RUIJVEN et al., 2016, p.15, tradução nossa) ”.

A substituição de 18% de cimento Portland resultaria numa redução de 17% das emissões de CO<sub>2</sub> e que, se apenas 30% do cimento utilizado globalmente fosse substituído por materiais cimentantes suplementares (MCS), as emissões de CO<sub>2</sub> da produção de cimento poderiam ser revertidas (DEMIS; TAPALIS; PAPADAKIS, 2014).

Neste contexto se incorpora o uso de materiais adicionais, denominados de adições minerais, que em alguns casos são pozolanas. Adições minerais são geralmente compostos minerais silicosos ou alumino-silicosos que promovem melhorias das propriedades físicas e mecânicas de concretos de cimento Portland (SALES, 2012).

Várias adições minerais provenientes de resíduos são empregadas em conjunto com cimento Portland, dentre os quais se destacam tradicionalmente: cinza volante, sílica ativa, argila calcinada e escória de alto forno (MEHTA e GJORV, 1982; AMBROISE *et al.*, 1984; MARSH e DAY, 1987; OSBORNE, 1998; FERNANDEZ *et al.*, 2011).

Recentemente, novos materiais vêm ganhando espaço em pesquisas e algumas aplicações em larga escala, como por exemplo: cinza da casca de arroz, cinza do bagaço de cana-de-açúcar, resíduo do tijolo moído e cinza de resíduos urbanos (ZHANG *et al.*, 1996; ROJAS e FRÍAS, 1999; PAYÁ *et al.*, 2002; COIMBRA *et al.*, 2002; SATA *et al.*, 2012).

Os trabalhos que utilizam cinzas as aplicam de duas formas, a primeira é como adição usando o resíduo como uma pozolana para aproveitamento do resíduo e avaliação da influência da mesma nas características dos concretos confeccionados. A segunda maneira é usando a cinza como substituto parcial do cimento, esta segunda maneira além de focar no reaproveitamento do resíduo também ajuda na diminuição do fator clínquer, sendo assim a segunda forma muito mais sustentável e ecologicamente correto.

Por fim todas as pesquisas são regionalizadas, pois cada cinza tem uma composição química oriunda da biomassa e tipo de queima utilizada, por isso esta pesquisa é de suma importância pois estudou a qualidade de um resíduo de sua região visando avaliar seu aproveitamento em concretos convencionais.

## **2 REFERÊNCIAL TEÓRICO**

### **2.1 RESÍDUOS**

Gerados em todos os momentos das atividades humanas, os resíduos, de todos os efeitos causados por eles, podem-se destacar um deles, sendo uma grande quantidade de emissão de gases do efeito estufa (MASILAMANI et al., 2017). Nos últimos anos, os resíduos deixaram de ser sobras indiscriminadas e passaram a ser matéria prima, deixando claro a mudança no modo de ver e tratar os resíduos (MELO, 2012). A autora comenta que, o que era antes considerado “lixo” ou rejeito descartado, passa a ser tratado de forma diferenciada, sendo classificado e tratado visando sua reinserção na cadeia produtiva.

Os resíduos podem ser oriundos das mais diversas atividades, sendo as principais delas industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de varrição, entre outras.

#### **2.1.1 Classes dos resíduos**

A NBR 10.004 (ABNT, 2004) classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser geridos de forma adequada. Nas ações de gestão de resíduos, a norma é um instrumento indispensável, sendo aplicada por instituições e órgãos fiscalizadores. A partir da classificação apresentada pela Norma, o gerador de



um resíduo pode naturalmente identificar o potencial de risco do mesmo, bem como reconhecer as melhores alternativas para reciclagem e/ou destinação final.

“A classificação de resíduos sólidos envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem, de seus constituintes e características, e a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo o impacto à saúde e meio ambiente é conhecido (NBR 10.004, 2004, p.5) ”.

A norma classifica os resíduos de em resíduos classe I (perigosos) e resíduos classe II (não perigosos). Subdivide ainda os resíduos classe II em classe II A (não inertes) e classe II B (inertes).

## **2.2 RESÍDUO INDUSTRIAL**

As atividades industriais, ao mesmo tempo que oferecem benefícios à população, através de seus inúmeros produtos produzidos, são também responsáveis pela exploração de recursos naturais e pela consequente geração de resíduos e rejeitos industriais que sobram da produção dos bens de consumo (BALDAN, 2015). Resíduos industriais são historicamente considerados nocivos ao meio ambiente, pela própria utilização dos recursos naturais na produção de bens de consumo, produção esta que gera grande quantidade de substâncias (resíduos), que na muitas vezes são agressivas ao homem e ao meio urbano (BALDAN, 2015).

“Os estudos que visam à utilização dos resíduos industriais vêm se intensificando diante da pressão das organizações ambientais, escassez de recursos naturais, busca de certificações para ganho de mercado e minimização de impacto ambiental. (ANDRADE, et al., 2016, p.321) ”.

Ainda conforme Andrade (2016), o progressivo desenvolvimento industrial, a inquietação ambiental com a gestão dos resíduos gerados, a fiscalização por parte das agências ambientais e a concorrência cada vez maior no mercado através das certificações, fazem com que os estudos para utilização dos resíduos industriais sejam mais intensificados. Vários estudos e pesquisas estão sendo desenvolvidos empregando esses resíduos industriais, como por exemplo, adicionando a cinza de casca de arroz em cerâmica (CORDEIRO; MASUERO. DAL MOLIN, 2014; BIFF; SILVA, 2016), ou lodo de

estação de tratamento de água em concreto (TAFAREL *et al.*, 2016; MENDES *et al.*, 2016).

## **2.3 BIOMASSA**

Biomassa é a matéria orgânica empregada na produção de energia (BIOMASSABR, 2017). Nem toda a produção primária do planeta passa a incrementar a biomassa vegetal, pois parte dessa energia acumulada é utilizada pelo ecossistema na sua própria manutenção. Os pontos positivos do uso da biomassa na produção de energia são o pequeno custo, o fato de ser renovável, permitir o reaproveitamento de resíduos e ser bem menos poluente que outras fontes de energia como o petróleo ou o carvão.

Dentre as biomassas mais utilizadas estão a lenha, o bagaço da cana-de-açúcar, galhos e folhas de árvores, papéis, papelão. A renovação da biomassa ocorre através do ciclo do carbono. A combustão da biomassa ou de seus derivados provoca a liberação de CO<sub>2</sub> na atmosfera. As plantas, através da fotossíntese, convertem esse CO<sub>2</sub> nos hidratos de carbono, liberando oxigênio.

Deste modo, a utilização da biomassa, desde que não seja de forma predatória, não altera a composição da atmosfera. A biomassa se destaca pela grande densidade energética e pela facilidade de armazenamento, conversão e transporte (BIOMASSABR, 2017).

Apesar do emprego de biomassa como fonte de energia traga vantagens, é relevante ressaltar que se deve ter um rigoroso controle sobre as áreas desmatadas (BIOMASSABR, 2017). Um exemplo disso foi à expansão da indústria de álcool no Brasil, onde várias florestas foram desmatadas para dar lugar às plantações de cana-de-açúcar. Por isso a preocupação ambiental, mais do que nunca, deve ser prioridade total na utilização da biomassa (BIOMASSABR, 2017).

### **2.3.1 Eucalipto**

O gênero *Eucalyptus* (figura 1) é conhecido por sua grande variabilidade genética. São centenas de espécies com propriedades físicas e químicas tão diversas que fazem com que os eucaliptos sejam usados para as mais diversas finalidades.

Figura 1 - Eucalipto



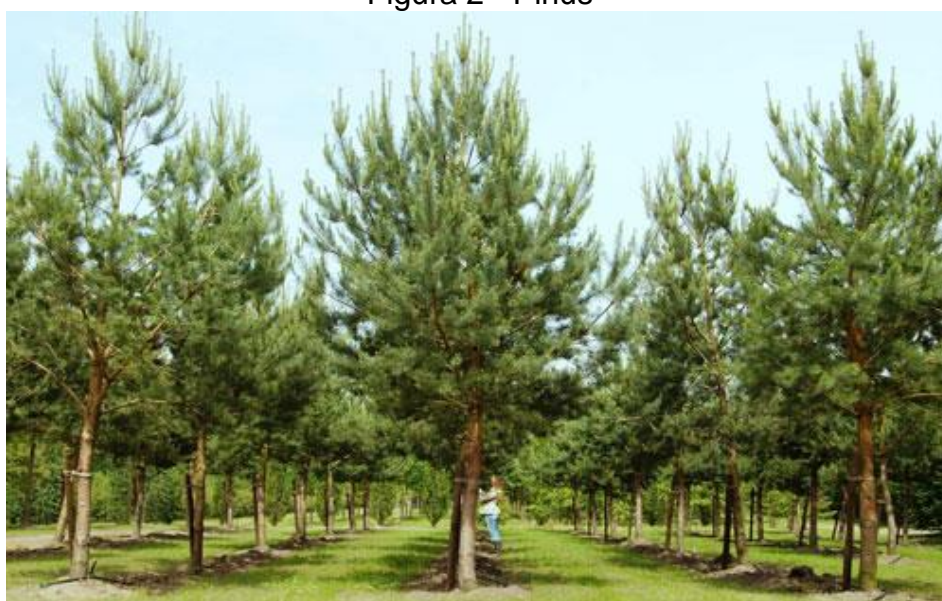
Fonte: Google Imagens, 2017.

Mesmo dentro de uma mesma espécie, propriedades podem variar marcadamente, fazendo com que determinadas progênies ou procedências sejam apropriadas para um determinado processo industrial e que outras sejam totalmente inúteis (PEREIRA *et al.*, 2000).

### 2.3.2 Pinus

Segundo Missio *et al.* (2015), o gênero *Pinus* compreende aproximadamente 600 espécies florestais, em que a madeira das espécies *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* (figura 2) destaca-se por apresentar grande aplicação industrial no Brasil.

Figura 2 - Pinus



Fonte: Google Imagens, 2017.

Essas espécies foram as que melhor se adaptaram ao clima na região sul e sudeste do país, tornando-se fontes renováveis de ciclo rápido, com mercado abrangendo os setores de paletes, embalagens, mobiliário, construção civil e indústrias de celulose e papel.

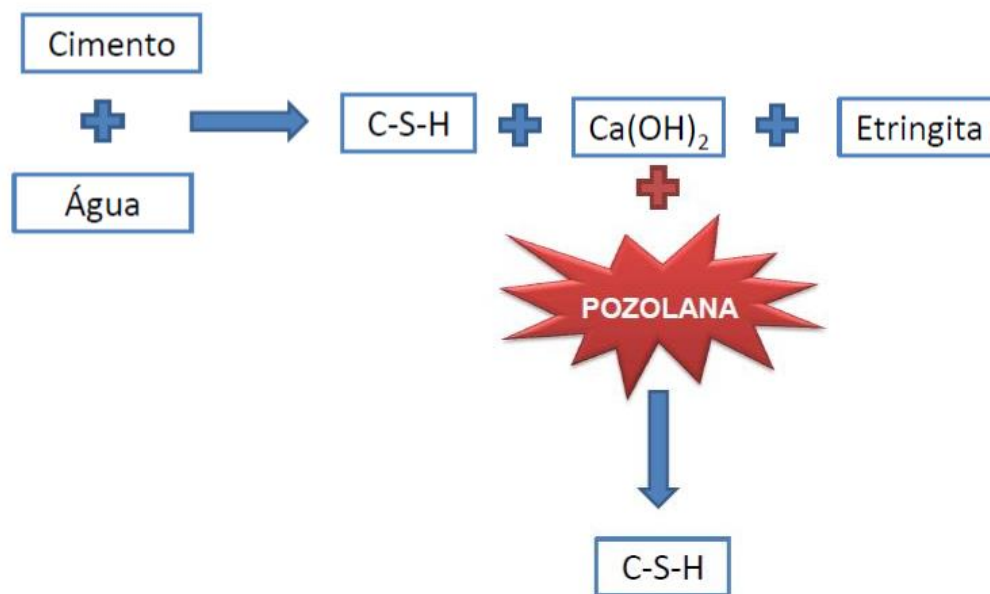
## **2.4 POZOLANAS E REAÇÕES POZOLÂNICAS**

Produtos usados como materiais suplementares em substituição parcial do cimento Portland são ditas adições minerais (SALES, 2012). Estes materiais são empregados com objetivo de aprimorar o desempenho de matrizes cimentícias (CORDEIRO, 2006). Dentre as adições minerais destacam-se as pozolanas. Trata-se de um material inorgânico, natural ou artificial, silicoso ou alumino-silicoso, que pode apresentar propriedades aglomerantes quando finamente moído e em presença de água e hidróxido de cálcio (ACI, 2002).

Resumidamente, a NBR 12653 (ABNT, 2014) define que pozolanas são materiais que contêm consideráveis teores de sílica ou alumina em sua forma reativa. O termo pozolana faz referência à cinza vulcânica originária da ilha italiana de *Pozzuoli* (MASSAZZA, 1998). A crescente utilização de pozolanas em matrizes cimentícias motiva o desenvolvimento de inúmeros métodos para avaliação da atividade pozolânica (SALES, 2012).

São definidas como Material Silicoso ou Sílico Aluminoso que em si mesmo possui pouca ou nenhuma propriedade cimentante mas, numa forma finamente dividida e na presença de umidade, reage quimicamente com o Hidróxido de Cálcio a temperaturas ambientes para formar compostos com propriedades cimentantes. As figuras 3 e 4 apresentam o resumo da atuação química das adições em concreto.

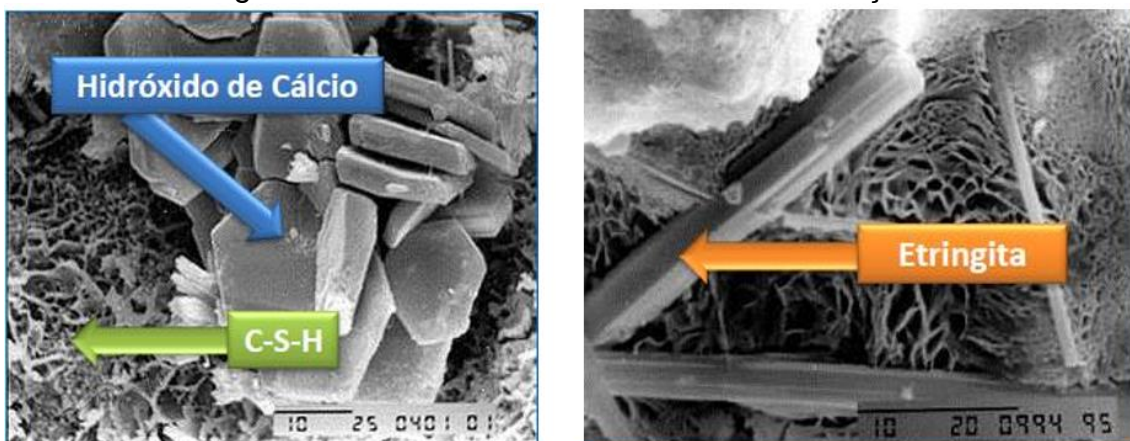
Figura 3 - Reação química e atuação das adições no concreto



Fonte: Isaia, 2011.

Segundo Mendes et al.(2017), as adições podem ser superpozzolanas ou não, com grande reatividade com o hidróxido de cálcio, produto gerado na hidratação do cimento.

Figura 4 - Micro Estrutura do concreto com adições



Fonte: Isaia, 2011.

Este material também produz C-S-H, como o gerado pelo clínquer, aumentando as resistências do concreto e atua fisicamente, como ponto de nucleação (conforme figuras acima). Com isso, potencializa as reações, melhorando as propriedades da mistura.



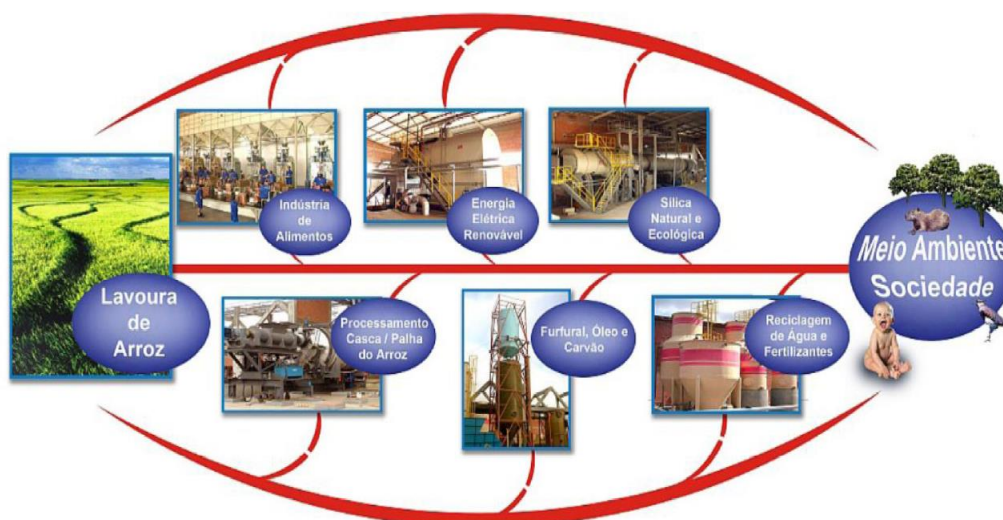
## 2.5 CINZAS POZOLÂNICAS AGROINDUSTRIAIS

A produção de grãos no Brasil é grande e visualiza-se um panorama favorável à sua expansão (SALES, 2012). Segundo estimativa do IBGE (2017), a safra de 2017 foi de cerca de 240 milhões de toneladas, 30,3% superior à safra colhida em 2016 (185,8 milhões de toneladas). O crescimento na produção se deve, em especial, à ampliação do cultivo de soja, milho e arroz.

O aumento da produção agrícola, inevitavelmente, acarreta a geração de maior volume de resíduos decorrentes destas atividades. Este fato aliado à crescente demanda energética do país e a necessidade de um desenvolvimento baseado em energias limpas e renováveis, motiva o aproveitamento energético dos resíduos agroindustriais pela calcinação em termoelétricas.

A figura 5 mostra o ciclo da produção de arroz de uma indústria em Alegrete (RS), os materiais produzidos nas diferentes fases são aproveitados nas etapas subsequentes. É interessante notar que o processo é energeticamente autossustentável, ou seja, a combustão da casca de arroz produz energia necessária à realização das atividades de beneficiamento do arroz. Vale destacar, ainda, que caso haja excedente energético, este é vendido à concessionária de energia. Concomitantemente, ocorre a co-geração controlada de cinza da casca do arroz para emprego como aditivo mineral (PILECCO NOBRE, 2012).

Figura 5 - Metodologia de geração energia a partir da casca de arroz



Fonte: PILECCO NOBRE, (2012).

A queima de biomassas em diversos tipos de atividades acaba gerando cinzas, resíduo que em grande parte não tem uma destinação certa, e acaba indo para os aterros sanitários. O teor de cinzas é a fração que permanece como resíduo, após a combustão do carvão vegetal. Varia de 0,5% a mais de 5%, dependendo da espécie, da quantidade de casca e da presença de terra e areia na madeira. Teores muito elevados exigem limpezas mais frequentes e podem provocar corrosão em equipamentos metálicos (PEREIRA *et al.*, 2000).

### **2.5.1 Cinza da casca de arroz**

O arroz é a base da dieta de muitos povos e assume um importante papel cultural, sobretudo para as populações orientais. O volume de casca resultante é muito elevado, tendo em vista que são produzidas cerca de 710 milhões de toneladas de arroz por ano em todo o mundo (FAO, 2010). No processamento industrial deste cereal, a casca corresponde a aproximadamente 20% de sua massa (SOUZA, 1993). Parte da casca pode ser empregada com cobertura vegetal em lavouras; porém, a alta relação carbono/nitrogênio desse material atrapalha seu uso com tal finalidade, pois acarreta lenta decomposição de seus compostos orgânicos. A aplicação mais comum consiste na produção energética através da calcinação da casca de arroz em fornalhas ou caldeiras (PRUDÊNCIO *et al.*, 2003).

### **2.5.2 Cinza de bagaço de cana de açúcar**

Além da cinza da casca de arroz, merece destaque o emprego da cinza de bagaço de cana-de-açúcar em matrizes cimentícias. De acordo com o IBGE (2012), a produção de cana no Brasil foi de 625 milhões de toneladas em 2011, quantidade processada em 357 usinas. Isto faz do Brasil o maior produtor mundial desta cultura. Cabe destaque ao bagaço da cana-de-açúcar devido ao grande volume gerado. Uma tonelada de cana produz cerca de 140 kg de bagaço, dos quais 90% são usados na produção de energia térmica e elétrica (RODRIGUES e ORTIZ, 2006). Este número pode ser incrementado caso seja acrescentado o uso da palha e das folhas com a mesma finalidade do bagaço; entretanto, a implantação desta ideia depende da mecanização da colheita. A energia demandada nos processos industriais nos engenhos de cana-de-açúcar é obtida de forma limpa e sustentável através da queima do bagaço. A

calcinação do bagaço, por sua vez, gera outro tipo de resíduo: a cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBCA).

### **2.5.3 Cinza de capim elefante**

As gramíneas possuem um importante papel na economia rural e o capim elefante é uma das espécies mais difundidas no Brasil. O capim elefante comum (*Pennisetum purpureum Schum.*), é uma espécie perene, cespitosa, de porte ereto e que consegue atingir mais de 3 m de altura (JACQUES, 1994). É uma gramínea triploide de origem africana que foi descoberta pelo Coronel Napier no início do século XX. Este tipo de capim foi introduzido no Brasil por volta de 1920 através de mudas provenientes de Cuba (CARVALHO, 1985). O capim elefante é cultivado com sucesso em diferentes condições climáticas; tal adaptação gerou o aparecimento de uma grande variedade de espécies e também promoveu a disseminação da cultura nas diversas regiões brasileiras. Em geral, o capim elefante adapta-se bem a vários tipos de solo com umidade suficiente, mas possui pouca tolerância aos solos mal drenados (JACQUES, 1994).

### **2.5.4 Cinza utilizada na pesquisa**

A cinza utilizada na pesquisa é oriunda da fábrica de blocos de cerâmica vermelha localizada na cidade de Palmas/TO, na qual faz a utilização de madeira de eucalipto para a queima da cerâmica em seus fornos.

Referente a cinza utilizada, pode-se falar que os ensaios de caracterização estão dispostos nos resultados e, quanto a pesquisas realizadas por outros pesquisadores, o mais próximo que se encontrou relacionado ao objeto desta pesquisa foi uma tese de doutorado sobre o estudo do efeito da incorporação de cinzas de cavaco de eucalipto como material cimentício suplementar na região de Ouro Preto, Minas Gerais. Como os estudos já realizados não se enquadram no objeto de pesquisa desse trabalho, optou-se por não os citar.



## **2.6 CONCRETO**

Conforme descrito por Mehta e Monteiro (2014), o concreto é um dos materiais de construção mais antigos. O concreto é um material que ao longo do tempo apresenta variações significativas de suas propriedades.

No concreto a máxima resistência é alcançada com uma pasta de cimento simples, devido ao alto custo do cimento, faz-se a junção de outros materiais, chamados de agregados, em que, para uma dada resistência e uma dada consistência, há uma distribuição granulométrica ótima (combinação de agregado miúdo/grauído) que minimiza a quantidade de pasta. Seu desempenho depende das propriedades das matérias-primas, e das quantidades combinadas e empregadas na sua composição e produção (ISAIA, 2011).

As características do concreto dependem do seu estado físico. No seu estado fresco, um atributo importante é a trabalhabilidade, responsável por facilitar sua aplicação. Já no estado endurecido, a durabilidade, permeabilidade e, principalmente, a resistência à compressão são suas principais características.

## **2.7 CIMENTO**

O cimento pode ser definido como um aglomerante hidráulico constituído de óxidos (cálcio, silício, ferro e alumínio) que em contato com a água tem a capacidade de endurecer. A norma C 150 (ASTM, 2007) define Cimento Portland como um aglomerante hidráulico produzido pela moagem do clínquer, que consiste essencialmente de silicatos de cálcio hidráulicos, usualmente com uma ou mais formas de sulfatos de cálcio como um produto de adição.

## **2.8 AGREGADO**

O agregado, um dos ingredientes mais importantes na elaboração da dosagem de concreto. Sobretudo porque aproximadamente 70 a 80% do volume do concreto é composto por agregados, o que torna o custo mais baixo por unidade de volume, devido os mesmos serem de menor custo que o cimento. A atuação dos agregados é decisiva em certas propriedades, entre as

quais a redução de retração na pasta, aumento da resistência ao desgaste e melhoria na trabalhabilidade (NEVES, 2009).

A utilização dos agregados deve-se ao fato de que quanto maior a quantidade de agregado menor será a relação água/cimento efetiva, em outros casos, um teor maior de agregado resultaria em menor retração e menor exsudação. Portanto, menor dano à aderência entre o agregado e a pasta e também menores as variações térmicas devidas ao calor de hidratação do cimento (NEVILLE, 2016).

Segundo Neville (2016), a influência do agregado na resistência do concreto não é somente devida a sua resistência mecânica, mas também é significativamente, à sua absorção e às características de aderência. A aderência entre o agregado e a pasta de cimento é um importante fator de resistência do concreto, especialmente da resistência à flexão. Um exemplo que pode-se dar a cerca desse conceito é que uma superfície mais áspera como a de partículas britadas, resulta em uma melhor aderência devido ao intertravamento mecânico.

Quanto a dimensões, os agregados são classificados em dois grupos. Os miúdos (areias quartzosas), os graúdos (seixos rolado, cascalho, britas) e os agregados pétreos de grandes grãos de 250 mm, entre 76mm e 250mm, conforme estabelecidas especificações da NBR 7211 (ABNT, 2009) e NBR 9935 (ABNT, 2011).

Os agregados inorgânicos leves, celular granulado, segundo as especificações brasileiras, encontra-se em dois grupos: o grupo I, os miúdos quando pelo menos 98% dos grãos passam na peneira de 4,8mm. No grupo II, os graúdos quando pelo menos 90% dos grãos ficam retidos na peneira de 4,8mm, conforme os limites estabelecidos através da NBR 7213 (ABNT, 2013).

Os agregados miúdos de densidade leve, média ou alta são: a areia de origem natural ou artificial resultante do esmagamento a moagem de vermiculita expandida, rochas estáveis, minério de bário além de outros ou a mistura de todos. A melhor definição é apresentada nas faixas dos limites granulométricos estabelecidos para agregados miúdos: areia muito fina, fina, média ou grossa, conforme as especificações da NBR 7211 (ABNT, 2009) para agregado normal e pesado, quanto aos agregados leve, conforme os limites estabelecidos através da NBR 7213 (ABNT, 2013).

As Figuras 6 e 7 ilustram exemplos dos agregados utilizados em concreto. Da esquerda para direita na Figura 6 são observados os agregados miúdos segundo a granulometria tendo da areia mais fina (menor tamanho dos grãos) para a mais grossa (maior tamanho dos grãos).

Figura 6 - Tipos de areia quanto às dimensões.



Fonte: Grupo Aleixo, (2019).

Da esquerda para direita na Figura 7 ilustra-se o agregado graúdo segundo a sua granulometria tendo a brita de menor tamanho dos grãos para a mais grossa (maior tamanho dos grãos), ainda na Figura 7 pode-se observar na parte inferior da figura o material obtido da britagem destes agregados, que resulta em um agregado miúdo artificial.

Figura 7 - Britas de dimensões variadas

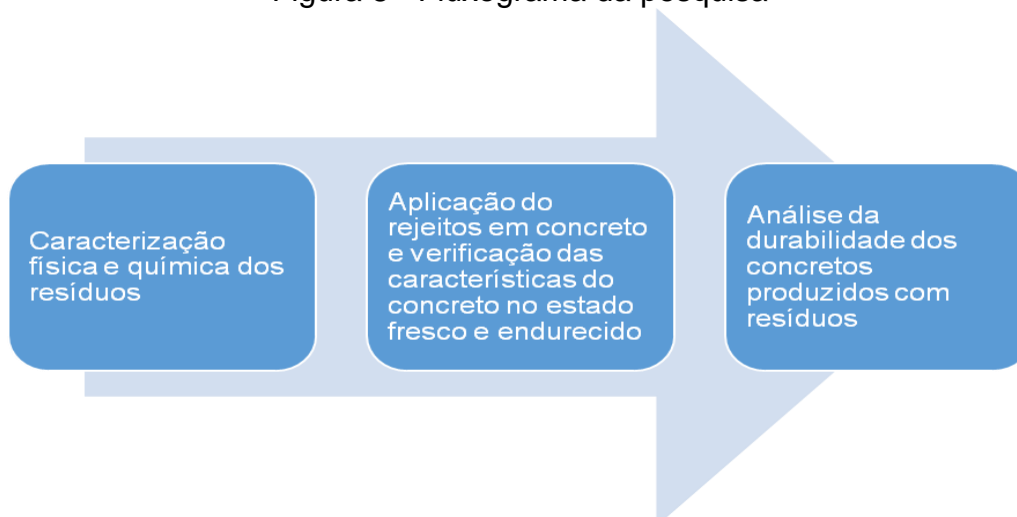


Fonte: Grupo Aleixo, (2019).

### 3 METODOLOGIA

A pesquisa é classificada como aplicada, pois teve o intuito de avaliar a possibilidade da substituição parcial do cimento Portland por resíduos de biomassa oriundos da queima de cerâmicas vermelhas, demonstrando assim se as propriedades do concreto foram alteradas com a utilização dos resíduos. A Figura 8 mostra o fluxograma da metodologia desta pesquisa.

Figura 8 - Fluxograma da pesquisa



Fonte: Autor, (2019).

### 3.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DOS REJEITOS

Para a aplicação destes rejeitos de forma eficaz foi feita uma caracterização física e química dos mesmos, onde as características encontradas nestes ensaios nortearam a aplicação destes rejeitos no concreto. A Tabela 2 traz a lista de ensaios que serão realizados para caracterização dos resíduos.

Tabela 1 - Ensaios físicos e químicos a serem realizados

NORMA	ENSAIO
NBR 5752 (ABNT, 1992)	Pozolanas - atividade pozolânica - determinação do índice de atividade pozolânica com cimento Portland
NBR NM 18 (ABNT, 2012)	Cimento Portland - análise química - determinação da perda por ignição

Fonte: Autor, (2019).

### 3.2 VERIFICAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO E ENDURECIDO

#### 3.2.1 Dosagem do Concreto

Dosagem do concreto é a determinação da mistura mais econômica de um concreto, com características capazes de atender às condições de serviço, utilizando os materiais disponíveis. Neste sentido, este trabalho avaliou o desempenho de concretos dosados com várias resistências à compressão axial, pelo método de dosagem ACI (*American Concrete Institute*).

O método ACI é composto de 7 etapas abaixo representadas em sua ordem de execução:

Passo 1: Escolha do abatimento;

Passo 2: Escolha da dimensão máxima característica do agregado graúdo;

Passo 3: Estimativas dos teores de água e ar incorporado

Passo 4: Estimativa da relação água/cimento

Passo 5: Cálculo de teor de cimento

Passo 6: Cálculo de teor de agregado Graúdo

Passo 7: Cálculo do agregado miúdo

Após a caracterização do resíduo de biomassa, e da dosagem dos traços de referência, foram confeccionados traços com diferentes teores de substituição nesta pesquisa, que estão descritos na Tabela 2, para o resíduo de biomassa. Foram dosados 4 traços de concreto empregando o resíduo estudado.

Tabela 2 - Traços de concreto a serem desenvolvidos

Família de traços	30 MPa			
(%) de substituição do cimento por cinza de biomassa	0	5	10	20

Fonte: Autor, (2019).

Para a verificação da influência da substituição parcial do cimento por resíduos de biomassas nas características do concreto no estado fresco e endurecido foram realizados os ensaios descritos na tabela 3.

Tabela 3 - Ensaios no estado fresco e endurecido do concreto

NORMA	ENSAIO
<b>NBR NM 67 (ABNT, 1998)</b>	Concreto – Determinação da consistência por abatimento do tronco de cone
<b>NBR 5739 (ABNT, 2010)</b>	Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.
<b>NBR 7222 (ABNT, 2011)</b>	Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos
<b>NBR 9778 (ABNT, 1987)</b>	Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão

Fonte: Autor, (2019).

Os traços feitos nesta pesquisa estão apresentados na tabela 4 bem como o número de corpos de prova para cada tipo de ensaio realizado nesta pesquisa. O ensaio de absorção de água foi realizado nos corpos de prova que foram rompidos aos 28 dias de idade.

Tabela 4 - Traços e quantidade de Corpos de prova

Nomenclatura Traço	Compressão 28 dias	Tração diametral 28 dias
T0 - Referência	5 CPs	5 CPs
T5 – 5% de Substituição	5 CPs	5 CPs
T10 – 10% de Substituição	5 CPs	5 CPs
T20 – 20% de Substituição	5 CPs	5 CPs

Fonte: Autor, (2019).

### 3.3 ANÁLISE DOS DADOS

Devido à quantidade de tratamentos e ensaios que foram realizados nesta pesquisa, foi aplicada análise de variância, por meio do modelo ANOVA (*analysis of variance*). A partir da significância dos fatores estudados buscou-se elaborar um modelo estatístico que represente os fenômenos estudados. A elaboração deste modelo foi feita através de uma regressão a partir dos dados experimentais do presente estudo.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Este tópico apresenta a caracterização dos materiais utilizados nesta pesquisa.

#### 4.1.1 Cinza de Biomassa

As tabelas abaixo apresentam os resultados da caracterização da cinza utilizada nesta pesquisa, sendo a tabela 5 de massa unitária, tabela 6 de massa específica, tabela 7 de perda por ignição e tabela 8 de índice de desempenho com o cimento Portland.

Tabela 5 - Massa unitária cinza

<b>Massa Unitária da Biomassa (cinza)</b>	
<b>Amostras</b>	<b>Pesos</b>
<b>Amostra 1 (g)</b>	3985,10
<b>Amostra 2 (g)</b>	3990,30
<b>Amostra 3 (g)</b>	4068,50
<b>Média das Amostras</b>	4014,63
<b>Água (g)</b>	6131,70
<b>Massa Unitária (g/cm<sup>3</sup>)</b>	0,65

Fonte: Autor, (2019).

Os resultados apresentados na tabela 5 são os resultados retirados do ensaio de massa unitária realizado no resíduo de biomassa (cinza), objeto de pesquisa deste trabalho, na qual foi realizado em consonância com a NBR NM 45 (ABNT, 2006). A partir dos resultados, obteve-se uma massa unitária 0,6547 g/cm<sup>3</sup>.

A massa unitária tem grande importância na tecnologia, pois é por meio dela, que se podem transformar as composições das argamassas e concretos dadas em peso para o volume e vice-versa. Pode-se também ressaltar que a massa unitária da cinza é de suma importância para o cálculo de volume de padiolas para aplicação deste material na prática e, em qualquer tipo de obra é importante conhecer sua massa unitária.

Os resultados obtidos no ensaio de massa específica da biomassa desta pesquisa são apresentados na tabela 6.

Tabela 6 - Massa específica cinza

<b>Massa específica da Biomassa (cinza)</b>							
<b>Ensaio 1</b>		<b>Ensaio 2</b>		<b>Ensaio 3</b>		<b>Ensaio 4</b>	
Volume inicial (cm <sup>3</sup> )	500,00	Volume inicial (cm <sup>3</sup> )	500,00	Volume inicial (cm <sup>3</sup> )	500,00	Volume inicial (cm <sup>3</sup> )	600,00
Amostra (g)	300,00	Amostra (g)	300,00	Amostra (g)	300,00	Amostra (g)	300,00
Volume Final (cm <sup>3</sup> )	620,00	Volume Final (cm <sup>3</sup> )	620,00	Volume Final (cm <sup>3</sup> )	620,00	Volume Final (cm <sup>3</sup> )	718,00
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,50	Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,50	Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,50	Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,54

Fonte: Autor, (2019).

Nos resultados obtidos pelo ensaio de massa específica realizado no resíduo de biomassa (cinza), objeto de pesquisa desse trabalho, na qual foi realizado em conformidade com a NBR 9776 (ABNT, 1987), obteve-se uma

massa específica de 2,51 g/cm<sup>3</sup>, que consiste na média dos ensaios representados na tabela 6.

A massa específica da cinza influencia no peso próprio do concreto, bem como seu conhecimento é importante para o cálculo de substituição do cimento pela cinza.

A figura 9 apresenta o ensaio de massa específica de agregados miúdos pelo meio do frasco de Chapman realizado na cinza de biomassa.

Figura 9 - Ensaio de massa específica (cinza)



Fonte: Autor, (2019).

Os resultados obtidos no ensaio de determinação da perda por ignição da biomassa desta pesquisa são apresentados na tabela 7, bem como as imagens abaixo apresentam a execução deste ensaio.

Tabela 7 - Determinação de perda por ignição (cinza)

Determinação de perda por ignição					
Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3	
Cadinho (g)	33,125	Cadinho (g)	33,172	Cadinho (g)	36,414
Amostra (g)	1,027	Amostra (g)	1,031	Amostra (g)	1,046
Cadinho + Amostra (g)	34,152	Cadinho + Amostra (g)	34,203	Cadinho + Amostra (g)	37,460
Peso final após forno 950°C (g)	33,958	Peso final após forno 950°C (g)	34,045	Peso final após forno 950°C (g)	37,296
Perda ao fogo	18,88%	Perda ao fogo	15,30%	Perda ao fogo	15,66%
<b>Média da perda ao fogo</b>			16,61%		

Fonte: Autor, (2019).



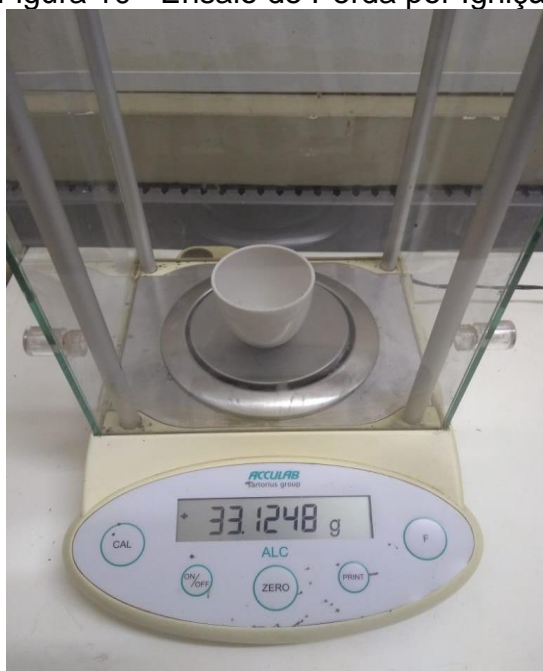
Os resultados apresentados na tabela 7 mostram a perda ao fogo em cimentos, na qual foi obtida pelo método nº 1, de determinação direta, da NBR NM 18 (ABNT, 2004), que apresenta um procedimento de referência e deve ser aplicado a todos os tipos de cimento, com exceção daqueles que contenham adições de escória granulada de alto-forno.

A partir do resultado obtido, pode-se verificar que o valor encontrado para a perda ao fogo se deu pela média dos 3 (três) ensaios realizados, o qual encontrou-se um valor final de 16,61% de perda.

Esse ensaio é de suma importância para aplicação da biomassa, pois ele nos diz o quanto o resíduo perde de massa, quanto menor o valor de perda mais cinza o resíduo gerará, aumentando o aproveitamento do resíduo e também possibilitando uma obtenção de maior quantidade de pozolona do resíduo para aplicação no concreto.

A figura 10 apresenta o ensaio de perda por ignição realizado na cinza de biomassa.

Figura 10 - Ensaio de Perda por Ignição



Fonte: Autor, (2019).

Os resultados obtidos no ensaio de índice de desempenho com o cimento Portland desta pesquisa são apresentados na tabela 8, bem como as imagens abaixo apresentam a execução deste ensaio.

Tabela 8 - Índice de Desempenho com CP

Determinação do índice de desempenho com o cimento Portland			
Argamassa A		Argamassa B	
Amostras	Resistência (kgf)	Amostras	Resistência (kgf)
Amostra 1	5,48	Amostra 1	3,48
Amostra 2	5,20	Amostra 2	2,95
Amostra 3	5,94	Amostra 3	3,13
Amostra 4	4,49	Amostra 4	3,50
Amostra 5	4,96	Amostra 5	2,91
Média	5,21	Média	3,19
<b>Determinação do índice de desempenho com o cimento Portland (%)</b>			61,26

Fonte: Autor, (2019).

Nos resultados obtidos pelo ensaio de índice de desempenho com o Cimento Portland realizado no resíduo de biomassa (cinza), objeto de pesquisa desse trabalho, na qual foi realizado em conformidade com a NBR 5752 (ABNT, 2014), na qual, obteve-se um índice de desempenho de 61,26%, que consiste na divisão das médias dos ensaios representados na tabela 8.

Esse resultado nos mostra que a reatividade deste material pozolânico (biomassa em estudo) com o Cimento Portland é de pouco mais de 60% de compatibilidade.

A figura 11 apresenta a fabricação dos corpos de prova de argamassa do o ensaio de índice de desempenho com o Cimento Portland realizado na cinza de biomassa.

Figura 11 - Confeccção dos corpos de prova de argamassa



Fonte: Autor, (2019).

A figura 12 apresenta o rompimento dos corpos de prova de argamassa do o ensaio de índice de desempenho com o Cimento Portland realizado na cinza de biomassa.

Figura 12 - Rompimento dos corpos de prova de argamassa



Fonte: Autor, (2019).

#### 4.1.2 Cimento

A Tabela 9 traz a caracterização química de um dos tipos mais comuns de cimento encontrado no mercado, que foi o utilizado nesta pesquisa cimento Portland CP II F-32.

Tabela 9 - Caracterização física e química do cimento Portland CP II F - 32.

PROPRIEDADES	MÉTODOS DE ENSAIO	CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA	PARÂMETROS NORMATIVOS DA NBR 11578: 1991
Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )	NBR NM 23: 2001	1,05	-
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	NBR NM 23: 2001	2,97	-
Finura Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	NBR NM 76: 1998	4380	≥ 2600
Resíduo na peneira # 200, 75mm (%)	NBR 11579: 1991	0,8	≤ 12
Resíduo na peneira # 325, 45 mm (%)	NBR 12826: 1993	5,8	-
Tempo de início de pega (h, min)	NBR 826: 2003	2 h, 20 min	≥ 1 h
Tempo de fim de pega (h, min)	NBR NM 65: 2003	3 h, 00 min	≤ 10 h (facultativo)
Resistência à compressão 3 dias (MPa)	NBR 7215: 1996	23,0	≥ 10
7 dias (MPa)	NBR 7215: 1996	31,5	≥ 20

28 dias (MPa)	NBR 7215: 1996	40,0	≥ 32
Teor de MgO (%)	NBR NM 14: 2012	1,04	≤ 6,5
Teor de SO3 (%)	NBR NM 14: 2012	2,65	≤ 4,0

Fonte: Carasek *et al.*, (2016).

#### 4.1.3 Agregados

Foi utilizada areia disponível nos Laboratórios do Instituto Federal do Tocantins - Campus Palmas. Sua caracterização está exibida na Tabela 10.

Tabela 10 - Caracterização da Areia

Propriedades	Métodos de ensaio	Caracterização da amostra
Massa unitária (kg/m <sup>3</sup> )	NBR NM 45: 2006	1470,00
Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )	NBR NM 52: 2002	2630,00
Modulo de Finura	NBR NM 248: 2003	1,63

Fonte: Autor, (2019).

Foi utilizada brita disponível nos Laboratórios do Instituto Federal do Tocantins - Campus Palmas. Sua caracterização está exibida na Tabela 11.

Tabela 11 - Caracterização Brita

Propriedades	Métodos de ensaio	Caracterização da amostra
Massa unitária (kg/m <sup>3</sup> )	NBR NM 45: 2006	1350,00
Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )	NBR NM 52: 2002	2640,00
Modulo de Finura	NBR NM 248: 2003	5,71
D <sub>máx</sub> (mm)	NBR NM 248: 2003	9,50

Fonte: Autor, (2019).

## 4.2 ABATIMENTO DE TRONCO DE CONE

Os resultados obtidos no ensaio de abatimento desta pesquisa são apresentados na tabela 12, bem como as imagens abaixo apresentam a execução deste ensaio.

Tabela 12 - Resultados Ensaio no estado fresco

SLUMP TESTE	
Traço	Resultados (cm)
TR	6,5
T5%	8,0
T10%	5,4
T20%	4,6

Fonte: Autor, (2019).

Os resultados apresentados na tabela 12 mostram a influência da substituição da cinza na trabalhabilidade do concreto convencional, pode-se observar que o T5 obteve uma melhora da trabalhabilidade, mas ambos traços sucessores obtiveram uma redução significativa nos valores quando comparados com o TR que foi o traço de referência dosado para um abatimento de  $8 \pm 2$  cm. Essa redução pode ser facilmente contornada com uso de aditivos plastificantes disponíveis hoje em larga escala no mercado.

A figura 13 apresenta todos os resultados de abatimentos desta pesquisa.



Fonte: Autor, (2019).

A alteração do abatimento dá-se prioritariamente pela granulometria da cinza, sendo um material fino, ela absorve mais água que os demais componentes do concreto levando assim a essa redução do abatimento para substituições em porcentagens elevadas como do T10 e T20. Quanto ao T5, haja vista se tratar de um percentual baixo de substituição, o acréscimo de superfície específica (fino da pozolana), não foi representativo de forma a interferir na absorção de água da mistura. Neste caso, observou-se uma melhora na trabalhabilidade derivado, talvez da melhor distribuição das porções granulométricas da mistura proporcionado pela pozolana.

Tutikian (2004), quando da realização de dosagem de Concretos Auto Adensáveis (CAA) no passo 5, propõe a adição de finos no traço de CAA, de forma a contribuir para uma melhoria da trabalhabilidade e permitir uma melhor coesão da mistura.

### 4.3 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão desta pesquisa são apresentados na tabela 13, bem como as imagens abaixo apresentam a execução deste ensaio.

Tabela 13 - Resultados Ensaio de Resistência à Compressão

<b>Resistência à Compressão aos 28 dias</b>				
<b>Traços</b>	<b>TR</b>	<b>T05</b>	<b>T10</b>	<b>T20</b>
Amostra 1	40,37	46,09	37,79	31,51
Amostra 2	40,90	38,11	31,87	29,63
Amostra 3	35,09	42,42	34,38	21,98
Amostra 4	47,96	43,00	39,10	33,05
Amostra 5	35,26	34,66	31,86	25,10
<b>Média</b>	39,92	40,86	35,00	28,25
<b>Variância</b>	27,73	20,11	11,17	21,23
<b>Desvio Padrão</b>	5,27	4,48	3,34	4,61

Fonte: Autor, (2019).

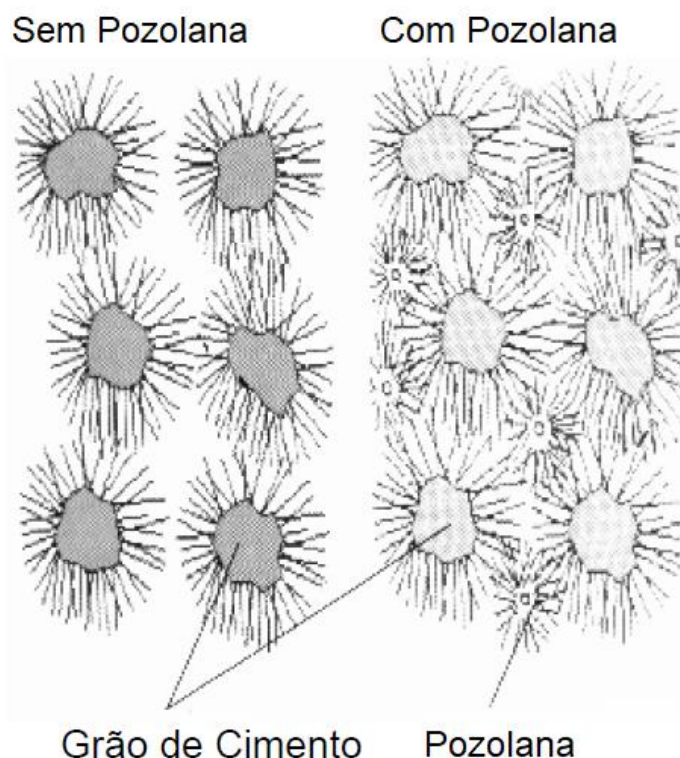
Nos resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão pode-se observar um acréscimo na resistência para o traço T5 e uma queda para os traços T10 e T20, o que já era esperado tendo em vista os levantamentos feitos pelo referencial teórico desta pesquisa.

O aumento de resistência do T5 pode ser justificado pela pozolanicidade da cinza, que apesar de não ser alta para uma substituição de 5% se mostrou ser uma eficiente substituta para tal porcentagem, além disso pode-se destacar que o empacotamento causado pela cinza pode também ter contribuído com esse ganho de resistência.

Já nos traços T10 e T20, houve redução de resistência, pois a cinza não conseguiu substituir o cimento a altura, devido a sua baixa pozolanicidade, deixando sua eficiência apenas em baixos teores de substituição. Como foram retirados 10% e 20% do cimento e colocado material de menor reatividade, houve uma redução de resistência nestes traços.

A figura 14 também nos ajuda a entender melhor essa redução ocorrida no T10 e T20.

Figura 14 - Microscopia do concreto com adição pozolanica.



Fonte: Capuzzo Neto, (2008).

A redução de resistência dos traços T10 e T20 pode ser justificado pela quantidade de água insuficiente para molhar todo o aglomerante, visto que a pozolana é mais fina, ou então, por não haver hidróxido de cálcio suficiente para formação de mais CSH com a reação pozolânica, ou, ainda, devido a redução da quantidade de grãos de cimento, sendo a cinza insuficiente para gerar os CSH que seriam resultantes da reação derivada do cimento.

Quando se utilizam pozolanas super reativas como sílica ativa, cinza da casca de arroz ou cinza do campim elefante como utilizaram Cordeiro e Sales (2015), concretos com até 20% de substituição conseguem manter o padrão de resistência dos concretos, pois as super pozolanas são super reativas e reforçam as ligações microscópicas do concreto, suprimindo assim e substituindo o cimento sem perdas de resistências.

A tabela 14 apresenta a comparação das médias pelo método ANOVA das resistências dos traços submetidos ao ensaio de compressão.



Tabela 14 - Comparação das médias por ANOVA/TUKEY

Comparação entre as médias para HSD = 8,10						
k	média	k				código
		T5	TR	T10	T20	
<b>T5</b>	40,86					a
<b>TR</b>	39,92	0,94				a
<b>T10</b>	35,00	5,86	4,92			a
<b>T20</b>	28,25	12,60	11,66	6,75		ab

Fonte: Autor, (2019).

Quando a diferença entre as médias é maior que o HSD as médias são diferentes, e quando a diferença entre as médias é menor que o HSD as médias são iguais. Os códigos indicam quais médias são estatisticamente iguais. Apesar dos valores serem diferentes, esse método de comparação analisa se realmente as médias são diferentes ou não de maneira estatística. Os pares de médias T5 e TR, e T5 e T10 são iguais estatisticamente. Logo o par TR e T10, e T10 e T20 são iguais. Já o par T5 e T20, e TR e T20 são estatisticamente diferentes.

A figura 15 apresenta a execução dos ensaios de resistência à compressão realizados em uma empresa parceira que apoiou na execução deste trabalho.

Figura 15 - Corpo de prova na prensa



Fonte: Autor, (2019).



#### 4.4 RESISTÊNCIA A TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Os resultados obtidos no ensaio de resistência à tração por compressão diametral desta pesquisa são apresentados na tabela 15, bem como as imagens abaixo apresentam a execução deste ensaio.

Tabela 15 - Resultados do Ensaio de resistência à tração por compressão diametral

<b>Resistência à Tração aos 28 dias</b>				
<b>Traços</b>	<b>TR</b>	<b>T05</b>	<b>T10</b>	<b>T20</b>
Amostra 1	13,41	10,02	11,61	11,40
Amostra 2	10,99	13,23	11,57	11,27
Amostra 3	12,35	11,45	11,32	9,17
Amostra 4	12,59	12,17	12,86	11,59
Amostra 5	13,84	9,32	8,48	11,98
<b>Média</b>	12,64	11,24	11,17	11,08
<b>Variância</b>	1,21	2,51	2,62	1,22
<b>Desvio Padrão</b>	1,10	1,58	1,62	1,10

Fonte: Autor, (2019).

Nos resultados obtidos no ensaio de resistência à tração por compressão diametral pode-se observar uma diminuição da resistência para os traços com mais substituição, entretanto, se for analisar a relação entre a resistência à tração por compressão diametral e a resistência à compressão, se teve um aumento significativo, uma vez que em concretos convencionais e na bibliografia pesquisada a resistência à tração é de 10% da resistência à compressão. Os valores encontrados nessa razão (resistência à tração por compressão diametral/resistência à compressão) foram de 27,50% para o T5, 31,91% para o T10 e 39,22% para o T20.

É importante ressaltar que as bibliografias sobre a resistência à tração citam que enquanto os concretos convencionais chegam a uma relação de tração/compressão na faixa de 10%, os concretos de alto desempenho tendem a diminuir, podendo chegar até 5% (ACI 363R-92, 2001).

Com isso, pode-se verificar que substituições feitas neste trabalho, apesar de diminuir suas resistências, elevaram os índices de comparação de entre resistência à tração e resistência à compressão.

Em relação a redução de resistência dos traços pode ser justificado pela quantidade de água insuficiente para molhar todo o aglomerante, visto que a pozolana é mais fina, ou então, por não haver hidróxido de cálcio suficiente para formação de mais CSH com a reação pozolânica, ou, ainda, devido a redução da quantidade de grãos de cimento, no qual os grãos da cinza não foram suficientes para suprir todos os vazios deixados pela substituição do cimento. Assim, a cinza não conseguiu substituir o cimento a altura, devido a sua baixa pozolanicidade e por ser menos reativa que o cimento.

A tabela 16 apresenta a comparação das médias pelo método ANOVA das resistências dos traços submetidos ao ensaio de tração por compressão diametral.

Tabela 16 - Comparação das medias por ANOVA/TUKEY

<b>Comparação entre as médias para HSD = 2,49</b>						
k	média	k				código
		TR	T5	T10	T20	
TR	12,64					a
T5	11,24	1,40				a
T10	11,17	1,47	0,07			a
T20	11,08	1,56	0,16	0,09		a

Fonte: Autor, (2019).

Quando a diferença entre as médias é maior que o HSD as médias são diferentes, e quando a diferença entre as médias é menor que o HSD as médias são iguais. Os códigos indicam quais médias são estatisticamente iguais. Apesar dos valores serem diferentes, esse método de comparação analisa se realmente as médias são diferentes ou não de maneira estatística. Portanto, como as médias são menores que o HSD, todas as médias são estatisticamente iguais. Os pares TR e T5, TR e T10, e TR e T20 são estatisticamente iguais. Assim como os traços T5 e T10, T5 e T20, e T10 e T20 também são estatisticamente iguais.

A figura 16 apresenta a execução do ensaio de resistência a tração por compressão diametral.

Figura 16 - Ensaio de tração por compressão diametral



Fonte: Autor, (2019).

#### 4.5 ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO

Os resultados obtidos no ensaio de absorção de água por imersão desta pesquisa são apresentados na tabela 17, bem como as imagens abaixo apresentam a execução deste ensaio.

Tabela 17 - Ensaio de absorção de água por imersão

Absorção de água por imersão								
Descrição	TReferência		T5%		T10%		T20%	
Estufa 105 °C - 24 Horas	TR1 (g)	3585,80	T5% - 1 (g)	3453,30	T10% - 1 (g)	3481,80	T20% - 1 (g)	3484,50
	TR2 (g)	3510,50	T5% - 2 (g)	3447,60	T10% - 2 (g)	3545,50	T20% - 2 (g)	3501,20
	TR3 (g)	3530,00	T5% - 3 (g)	3453,40	T10% - 3 (g)	3480,10	T20% - 3 (g)	3395,40
	TR med. (g)	3542,10	T5% med. (g)	3451,43	T10% med. (g)	3502,47	T20% med. (g)	3460,37
Estufa 105 °C - 48 Horas	TR1 (g)	3542,40	T5% - 1 (g)	3413,40	T10% - 1 (g)	3436,80	T20% - 1 (g)	3432,20
	TR2 (g)	3467,20	T5% - 2 (g)	3409,70	T10% - 2 (g)	3498,10	T20% - 2 (g)	3454,20
	TR3 (g)	3486,40	T5% - 3 (g)	3411,50	T10% - 3 (g)	3438,50	T20% - 3 (g)	3346,70
	TR med. (g)	3498,67	T5% med. (g)	3411,53	T10% med. (g)	3457,80	T20% med. (g)	3411,03
Estufa 105 °C - 72 Horas	TR1 (g)	3506,10	T5% - 1 (g)	3410,20	T10% - 1 (g)	3414,30	T20% - 1 (g)	3395,80
	TR2 (g)	3432,50	T5% - 2 (g)	3405,60	T10% - 2 (g)	3475,40	T20% - 2 (g)	3423,80
	TR3 (g)	3450,70	T5% - 3 (g)	3408,10	T10% - 3 (g)	3415,10	T20% - 3 (g)	3314,90
	TR med. (g)	3463,10	T5% med. (g)	3407,97	T10% med. (g)	3434,93	T20% med. (g)	3378,17
Imersão 23 °C - 24 Horas	TR1 (g)	3691,50	T5% - 1 (g)	3596,60	T10% - 1 (g)	3619,20	T20% - 1 (g)	3622,40
	TR2 (g)	3610,20	T5% - 2 (g)	3593,80	T10% - 2 (g)	3671,70	T20% - 2 (g)	3621,90
	TR3 (g)	3628,10	T5% - 3 (g)	3588,20	T10% - 3 (g)	3612,70	T20% - 3 (g)	3548,10
	TR med. (g)	3643,27	T5% med. (g)	3592,87	T10% med. (g)	3634,53	T20% med. (g)	3597,47
Imersão 23 °C - 48 Horas	TR1 (g)	3698,50	T5% - 1 (g)	3598,90	T10% - 1 (g)	3627,40	T20% - 1 (g)	3623,10
	TR2 (g)	3621,60	T5% - 2 (g)	3596,70	T10% - 2 (g)	3676,80	T20% - 2 (g)	3654,00
	TR3 (g)	3639,80	T5% - 3 (g)	3591,10	T10% - 3 (g)	3619,80	T20% - 3 (g)	3549,20
	TR med. (g)	3653,30	T5% med. (g)	3595,57	T10% med. (g)	3641,33	T20% med. (g)	3608,77

Imersão 23 °C - 72 Horas	TR1 (g)	3705,10	T5% - 1 (g)	3600,60	T10% - 1 (g)	3635,60	T20% - 1 (g)	3688,30
	TR2 (g)	3630,10	T5% - 2 (g)	3599,90	T10% - 2 (g)	3684,10	T20% - 2 (g)	3637,40
	TR3 (g)	3650,70	T5% - 3 (g)	3594,30	T10% - 3 (g)	3630,20	T20% - 3 (g)	3532,70
	TR med. (g)	3661,97	T5% med. (g)	3598,27	T10% med. (g)	3649,97	T20% med. (g)	3619,47
Absorção por imersão - 72 horas	Abs TR méd.						5,74%	
	Abs T5% méd.						5,58%	
	Abs T10% méd.						6,26%	
	Abs T20% méd.						7,14%	

Fonte: Autor, (2019).

Assim como no ensaio de resistência a compressão pode-se observar que quanto maior a resistência dos traços, menor a absorção de água e, isso tem a ver com a porosidade do concreto, seu índice de vazios. Portanto, quanto maior a resistência, menor a porosidade e menor o índice de vazios e, com isso, também menor a absorção de água do concreto.

A absorção seguiu a lógica da resistência à compressão e das bibliografias estudadas, na qual consiste em quanto maior a resistência, menor a absorção, devido à redução de poros na matriz do concreto.

Portanto, concretos com pozolanas tem sua porosidade reduzida, pois os grãos das pozolanas chegam a ser até 100 vezes menores que os grãos de cimento, o que conseqüentemente gera concretos com menor quantidades de vazios e menor absorção de água.

A figura 19 apresenta a parte de secagem em estufa à temperatura de  $(105 \pm 5)$  °C do ensaio de absorção de água por imersão. Já a figura 20 apresenta a parte de saturação em água à temperatura de  $(23 \pm 2)$  °C desta mesmo ensaio.

Figura 17 - Corpos de prova em secagem na estufa



Fonte: Autor, (2019).

Figura 18 - Imersão dos corpos de prova



Fonte: Autor, (2019).

## 5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Os resultados alcançados nesta pesquisa nos mostram mais uma vez que a substituição parcial do cimento é uma alternativa que além de sustentável, para o problema do fator clínquer (poluição gerada pela fabricação do cimento), é também uma alternativa com grande viabilidade técnica.

Assim, de acordo com a tabela 7.1 da NBR 6118 (ABNT, 2014), figura 19, confirma-se mais uma vez que os concretos realizados nesta pesquisa podem ser utilizados para fins estruturais, pois a tabela mostra que concretos estruturais devem ter uma resistência mínima de 20 Mpa, no caso de concreto armado e, de 25 Mpa, no caso de concreto protendido. Dentre os concretos estudados o que apresentou menor resistência foi o traço com 20% de substituição (resistência de 28,25 Mpa), se enquadrando nos parâmetros estabelecido pela norma.

Figura 19 - Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto (NBR 6118)

Concreto <sup>a</sup>	Tipo <sup>b, c</sup>	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

<sup>a</sup> O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.  
<sup>b</sup> CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.  
<sup>c</sup> CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: Autor, (2019).

Outro aspecto importante é a respeito da redução do fator clínquer do cimento, na qual os traços com mais substituição de cinza ajudam na redução de poluição, pois diminuem os gases maximizadores do efeito estufa, reduzem o consumo de materiais não renováveis, fazem a reinserção de materiais na cadeia produtiva e, é ambientalmente correto, pois dá uma destinação a biomassa e tira gás carbônico da atmosfera.

Neste caso, pode-se chegar à conclusão de que o melhor traço foi o traço com 20% de substituição, pois além de atender as exigências da NBR 6118, é o traço que mais faz a substituição de cimento pela cinza.

Agora, analisando os resultados obtidos pode-se ver que a substituição teve influência na trabalhabilidade do concreto de forma negativa nos traços com 10 e 20 % de substituição, porém no traço com 5% de substituição teve-se um aumento na trabalhabilidade em relação ao traço de referência, com isso nota-se que poderia ser avaliado em trabalhos futuros teores de 6 a 9% de substituição para análises mais detalhadas desta influência nos concretos convencionais. Já para as substituições de maiores teores o interessante seria utilização de plastificantes para correção da trabalhabilidade sem necessidade de acréscimo de água e conseqüentemente perda de resistência.

Outro ponto a ser observado é que no caso de 5% de substituição pode ajudar na produção de concretos de maior trabalhabilidade, como no caso de Concreto Alto Adensável (CAA), essa melhoria deve-se principalmente ao maior empacotamento causado pelos grãos da cinza com cimento, dando melhor plasticidade e coesão a mistura, mesmo o concreto da pesquisa não sendo CAA pode-se dizer pelo resultado obtido no T5 que para pequenas substituições a cinza pode ser uma boa alternativa para melhoria de trabalhabilidade.

Quando passa-se a analisar as características no estado endurecido do concreto pode-se ver que na resistência à compressão apenas no traço de 5% de substituição tem um leve aumento de resistência, mostrando que para pequenas substituições a cinza avaliada nesta pesquisa mostra-se muito efetiva, melhorando a trabalhabilidade e também a resistência a compressão do concreto convencional e, essa melhora se dá pela diminuição de vazios na qual melhora a zona de transição, que é a aderência entre argamassa e agregados, ajudando assim a melhoria da resistência da matriz. Já nos traços de 10% e 20% de substituição se teve uma redução significativa na resistência dos concretos, que pode ser justificado pela quantidade de água insuficiente para molhar todo o aglomerante, visto que a pozolana é mais fina, ou então, pelos grãos da cinza não serem suficientes para suprir todos os vazios deixados pela substituição do cimento, ou ainda, por não haver hidróxido de cálcio suficiente para formação de mais CSH com a reação pozolânica.

Já quanto à resistência a tração por compressão diametral, apesar também da queda neste parâmetro avaliado pela substituição, pode-se observar que a realização da comparação das medias pelo método ANOVA

mostram que estatisticamente todos os traços são iguais, apesar de ter uma leve diminuição da resistência com o aumento de substituição do cimento. Diminuição essa que pode ser justificado pela quantidade de água insuficiente para molhar todo o aglomerante, ou então, devido a redução da quantidade de grãos de cimento, no qual os grãos da cinza não foram suficientes para suprir todos os vazios deixados pela substituição do cimento.

Pode-se observar também em relação a resistência à tração, que em concretos convencionais, a resistência à tração é de 10% da resistência à compressão, o que nos traços com substituição pode se verificar um aumento desta porcentagem, sendo representado por 27,50% da resistência à compressão o T5, 31,91% da resistência à compressão o T10 e, 39,22% da resistência à compressão o T20.

Referente à absorção por imersão, no traço com 5% de substituição, houve uma boa combinação, na qual se tirou 5% de cimento e, colocou-se 5% de uma cinza mias fina, na qual preencheu melhor os vazios na matriz do concreto, melhorando a resistência à compressão deste traço e, conseqüentemente, diminuiu o índice de absorção. Já nos traços com 10% e 20% de substituição, foram tirados uma maior quantidade de cimento para substituição de uma cinza mais fina, no qual os grãos da cinza não foram suficientes para suprir todos os vazios deixados pela substituição do cimento, o que gerou perda de resistência à compressão destes traços e, conseqüentemente, aumentou o índice de absorção.

Adições pozolanicas reduzem a porosidade do concreto, pois preenchem os vazios deixados pelos grãos de cimento gerando assim uma matriz mais compacta, o que resulta em ganho de resistência, diminuição da absorção de água.

## SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Para a utilização de cinza de biomassas oriundas desta região como substituta do cimento visando melhorias nas características do concreto convencional, é interessante que mais pesquisas sejam realizadas, para proporcionar maior confiabilidade e segurança na utilização deste material em concreto convencional. Abaixo há sugestões para a realização de novas pesquisas:

- Realizar o estudo com diferentes teores de substituição em quantidades menores como por exemplo o intervalo de 0,1% a 4,9%;
- Realizar a utilização da cinza em conjunto com um aditivo superplastificante;
- Fazer um pré-tratamento da cinza antes da aplicação no concreto, podendo ser estes tratamentos lavagem com água desionizada ou por lixiviação durante 2 h numa solução de ácido clorídrico 1 N (HCl) a 90 °C, como Sales (2012), tratou suas cinzas de capim elefante;
- Estudo da durabilidade de concretos produzidos com resíduos de biomassa oriundos da queima de cerâmica vermelha;
- Avaliar a microestrutura da cinza oriunda da queima de cerâmica vermelha na região de Palmas/TO.



## REFERÊNCIAS

ALEIXO, Grupo. **Website**. Disponível em: <<http://www.grupoaleixo.com.br/>>. Acesso em: 15 abr. 2017.

AMBROISE, J.; MURAT, M.; PÉRA, J. *Hydration reaction and hardening of calcined clays and related minerals V. Extension of the research and general conclusions*. **Cement And Concrete Research**, [s.l.], v. 15, n. 2, p.261-268, mar. 1985. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0008-8846\(85\)90037-7](http://dx.doi.org/10.1016/0008-8846(85)90037-7). Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0008884685900377>>. Acesso em: 18 abr. 2019.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Committee 363. *State-of-the-art report on high-strength concrete, ACI 363R-92 (Reapproved 1997)*. *ACI Manual of Practice 2001*. ACI, Detroit (USA), 2001. 18p.

\_\_\_\_\_. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004. Resíduos Sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 9776. Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman**. Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 18. Cimento Portland – Análise química - Determinação de perda ao fogo**. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. **NBR 7215. Cimento Portland – Determinação de resistência à compressão**. Rio de Janeiro, 1997.

\_\_\_\_\_. **NBR 5752. Materiais pozolânicos – Determinação de atividade pozolânica com cimento Portland - Índice de atividade pozolânica com cimento**. Rio de Janeiro, 1992.

\_\_\_\_\_. **NBR 12653. Materiais pozolânicos – Especificação**. Rio de Janeiro, 1992.

\_\_\_\_\_. **NM 23. Cimento Portland: e outros materiais em pó – determinação de massa específica**. Rio de Janeiro, 2000.

\_\_\_\_\_. **NBR 7211: Agregados: Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 7222: Argamassa e concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 1994.

\_\_\_\_\_. **NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_. **NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 67: Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro, 1998.

\_\_\_\_\_. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. **NBR 9935: Agregados – Terminologia.** Rio de Janeiro, 2011.

\_\_\_\_\_. **NBR 7213: Agregados leves para concreto isolante térmico — Requisitos.** Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento.** Rio de Janeiro, 2014.

ANDRADE, Clarice de et al. Compósito para a construção civil a partir de resíduos industriais. **Matéria (rio de Janeiro)**, [s.l.], v. 21, n. 2, p.321-329, jun. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620160002.0031>. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1517-70762016000200321&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762016000200321&lng=pt&tlng=pt)>. Acesso em: 18 abr. 2019.

BALDAN, Victor José dos Santos. **Desenvolvimento e caracterização de placas poliméricas produzidas a partir da reciclagem do resíduo industrial de poliuretana termofixa.** 2015. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia) - Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/102/102131/tde-30062016-102309/>>. Acesso em: 2019-06-26.

BIFF, Sergio; SILVA, Manoel Ribeiro da. Uso do resíduo sólido proveniente do processo de beneficiamento de areia na indústria de revestimentos cerâmicos e sua influência nas propriedades físicas dos produtos cerâmicos. **Matéria (rio de Janeiro)**, [s.l.], v. 21, n. 4, p.853-865, dez. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620160004.0103>. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1517-70762016000400853&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1517-70762016000400853&script=sci_arttext)>. Acesso em: 26 jun. 2019.

BEZZERA, I. M. T., SOUZA, J., CARVALHO, J. B. Q., et al. “Aplicação da cinza da casca do arroz em argamassas de assentamento”, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 15, n.6, pp. 639-645, Jun 2011. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v15n6/v15n06a15.pdf>>. Acesso em: 18 abr. 2019.

CAPUZZO NETO, Valentim. **NOTAS DE AULA DO CURSO TÉCNICO EM EDIFICAÇÕES: CONTROLE TECNOLÓGICO.** Palmas: Escola Técnica Federal de Palmas, 2008. 56 p.

CARVALHO, L. A. ***Pennisetum purpureum*, Schumacher - Revisão**. Coronel Pacheco: EMBRAPA-CNPGL. Boletim de Pesquisa. 1985.

CARASEK, Helena *et al.* Parâmetros da areia que influenciam a consistência e a densidade de massa das argamassas de revestimento. **Matéria (rio de Janeiro)**, [s.l.], v. 21, n. 3, p.714-732, set. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620160003.0068>. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S151770762016000300714&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S151770762016000300714&lng=pt&tlng=pt)>. Acesso em: 20 abr. 2019.

COIMBRA, M. A. *et al.* Recuperação de resíduos inorgânicos para a construção civil. **Cerâmica**, [s.l.], v. 48, n. 306, p.44-48, jun. 2002. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0366-69132002000200001>. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S036669132002000200001&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S036669132002000200001&script=sci_abstract&tlng=pt)>. Acesso em: 18 abr. 2019.

CORDEIRO, G. C., **Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concreto**. 2006. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.

CORDEIRO, Luciana de Nazaré Pinheiro *et al.* Análise do potencial pozolânico da cinza de casca de arroz (CCA) através da técnica de Refinamento de Rietveld. **Matéria (rio de Janeiro)**, [s.l.], v. 19, n. 2, p.150-158, jun. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-70762014000200009>. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S151770762014000200150&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S151770762014000200150&script=sci_abstract&tlng=pt)>. Acesso em: 18 abr. 2019.

CORDEIRO, Guilherme Chagas; SALES, Caroline Pessôa. *Pozzolanic activity of elephant grass ash and its influence on the mechanical properties of concrete*. **Cement And Concrete Composites**, [s.l.], v. 55, p.331-336, jan. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.09.019>.

DEMIS, S.; TAPALI, J.g.; PAPADAKIS, V.g.. *An investigation of the effectiveness of the utilization of biomass ashes as pozzolanic materials*. **Construction And Building Materials**, [s.l.], v. 68, p.291-300, out. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.06.071>. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061814006904>>. Acesso em: 17 abr. 2019.

IBGE. **Estimativa para a safra 2017**. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/17171-em-setembro-ibge-preve-safra-de-graos-30-3-superior-a-2016.html>>. Acesso em: 11 out. 2017.

JACQUES, A. V. A. **Caracteres morfo-fisiológicos e suas implicações com o manejo**. In: CARVALHO, M. M., ALVIM, M. J., XAVIER, D. F. (Ed.)

Capimelefante: produção e utilização. Coronel Pacheco, MG: Embrapa-CNPGL, 1994.

LIU, Yili; SUN, Weixin; LIU, Jianguo. *Greenhouse gas emissions from different municipal solid waste management scenarios in China: Based on carbon and energy flow analysis*. **Waste Management**, [s.l.], p.1-9, jun. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2017.06.020>. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X17304610>>. Acesso em: 26 jun. 2019.

MASILAMANI, Dineshkumar **et al.** *Sustainable packaging materials from tannery trimming solid waste: A new paradigm in wealth from waste approaches*. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], p.1-27, jun. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.200>. Disponível em: <[http://ac.els-cdn.com/S0959652617313707/1-s2.0-S0959652617313707-main.pdf?\\_tid=abf8cb60-5aaa-11e7-9f1d0000aab0f01&acdnat=1498507653\\_9b5c3496e997c40ead99f1a20b5769df](http://ac.els-cdn.com/S0959652617313707/1-s2.0-S0959652617313707-main.pdf?_tid=abf8cb60-5aaa-11e7-9f1d0000aab0f01&acdnat=1498507653_9b5c3496e997c40ead99f1a20b5769df)>. Acesso em: 26 jun. 2019.

MISSIO, André Luiz **et al.** Propriedades mecânicas da madeira resinada de *Pinus elliottii*. **Ciência Rural**, [s.l.], v. 45, n. 8, p.1432-1438, ago. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20130475>. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-84782015000801432&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782015000801432&lng=pt&tlng=pt)>. Acesso em: 11 out. 2019.

FERNANDEZ, Rodrigo; MARTIRENA, Fernando; SCRIVENER, Karen L.. *The origin of the pozzolanic activity of calcined clay minerals: A comparison between kaolinite, illite and montmorillonite*. **Cement And Concrete Research**, [s.l.], v. 41, n. 1, p.113-122, jan. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.09.013>. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008884610002176>>. Acesso em: 16 abr. 2017.

HOSSEINI, Mahsa Madani; SHAO, Yixin; WHALEN, Joann K.. *Biocement production from silicon-rich plant residues: Perspectives and future potential in Canada*. **Biosystems Engineering**, [s.l.], v. 110, n. 4, p.351-362, dez. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2011.09.010>. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511011001644>>. Acesso em: 16 abr. 2019.

IBRACON (instituto Brasileiro de Concreto). GERALDO CECHELLA ISAIA (São Paulo). (Ed.). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: Ipsis Gráfica e Editora, 2011.

KRAEMER, Maria Elisabeth Pereira. A questão ambiental e os resíduos industriais. In: ENEGEP. 2005, Porto Alegre. **Anais**. Porto Alegre: Amda, 2005. p. 1 - 7. Disponível em: <[http://www.amda.org.br/imgs/up/Artigo\\_25.pdf](http://www.amda.org.br/imgs/up/Artigo_25.pdf)>. Acesso em: 17 abr. 2017.

LUCAS, Denis; BENATTI, Cláudia Telles. UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS PARA A PRODUÇÃO DE ARTEFATOS CIMENTÍCIOS E ARGILOSOS EMPREGADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, Maringá, v. 1, n. 3, p.405-418, set. 2008. Trimestral. Disponível em: <[https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjKt5ayxODTAhUCk5AKHXFoA7oQFggoMAE&url=http://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/download/850/663&usg=AFQjCNEJdYdduM1Zs5wxFhxpSonTNIpxyg&sig2=U\\_OWtZNMJcAVFF4pJ6Flpg](https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjKt5ayxODTAhUCk5AKHXFoA7oQFggoMAE&url=http://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/download/850/663&usg=AFQjCNEJdYdduM1Zs5wxFhxpSonTNIpxyg&sig2=U_OWtZNMJcAVFF4pJ6Flpg)>. Acesso em: 08 maio. 2019.

MARSH, Bryan K.; DAY, Robert L.. *Pozzolanic and cementitious reactions of fly ash in blended cement pastes*. **Cement And Concrete Research**, [s.l.], v. 18, n. 2, p.301-310, mar. 1988. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0008-8846\(88\)90014-2](http://dx.doi.org/10.1016/0008-8846(88)90014-2). Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0008884688900142>>. Acesso em: 18 abr. 2017.

MASSAZZA, F. *Pozzolana and pozzolanic cements*. In: Hewlett, P. C. (ed), *Lea's chemistry of cement and concrete*, 4 ed. New York: J. Wiley, pp. 471-631. 1998.

MEHTA, P.k.; GJØRV, O.e. *Properties of portland cement concrete containing fly ash and condensed silica-fume*. **Cement And Concrete Research**, [s.l.], v. 12, n. 5, p.587-595, set. 1982. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0008-8846\(82\)90019-9](http://dx.doi.org/10.1016/0008-8846(82)90019-9). Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0008884682900199>>. Acesso em: 15 abr. 2017.

MEHTA, Kumar P., MONTEIRO, PAULO J.M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. Editora Pini Ltda, 1ª Edição. São Paulo, 2014.

MELO, Thais Felipe de. *Gestão de resíduos sólidos: um estudo sobre grupos de influência no município de Piracicaba - SP*. 2012. **Dissertação** (Mestrado em Ecologia Aplicada) - Ecologia de Agroecossistemas, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012. doi:10.11606/D.91.2012.tde-14032012-101138. Acesso em: 2017-06-26.

MENDES, André Soares, **et al.** *Desenvolvimento de concretos leves para o Concrebol*. CONCRETO & CONTRUÇÃO (ISSN: 1809-7197) Revista IBRACON. 2017.

NEVES, Idercio França Das. *Materiais de construção: Estudo de dosagem racional de concreto estrutural comum*. Pontifícia universidade católica do Paraná – Curitiba- PR. 2009.

NEVILLE, A. M., **Propriedades do Concreto**, Editora Pini, 5º ed., 2016.

OSBORNE, G.j. *Durability of Portland blast-furnace slag cement concrete*. **Cement And Concrete Composites**, [s.l.], v. 21, n. 1, p.11-21, jan. 1999. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0958-9465\(98\)00032-8](http://dx.doi.org/10.1016/s0958-9465(98)00032-8). Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946598000328>>. Acesso em: 15 abr. 2017.

PAYÁ, J.; MONZÓ, J.; BORRACHERO, M. V.; DIÁZ-PINZÓN, L.; ORDÓÑEZ, L. M. *Sugar-cane bagasse ash (SCBA): studies on its properties for reusing in concrete production*. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, n. 77, pp. 321-325. 2002. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jctb.549/abstract>> Acesso em: 15 abr. 2019.

PEDROSO, F. L. **Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. Concreto: material construtivo mais consumido no mundo**, São Paulo, n. 53, p. 14-19, jan.-fev.-mar, 2009.

PELIZER, Lúcia Helena; PONTIERI, Márcia Helena; MORAES, Iracema de Oliveira. UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS AGRO-INDUSTRIAIS EM PROCESSOS BIOTECNOLÓGICOS COMO PERSPECTIVA DE REDUÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL. **Journal Of Technology Management & Innovation © Jotmi Research Group**, Santiago, v. 2, n. 1, p.118-127, mar. 2007. Disponível em: <<http://www.jotmi.org/index.php/GT/article/view/384>>. Acesso em: 08 maio, 2017.

PEREIRA, J.C.D.; STURION, J.A.; HIGA, A.R.; HIGA, R.C.V.; SHIMIZU, J.Y. Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil. Colombo: *Embrapa Florestas*, 2000. 113p. (*Embrapa Florestas*. Documentos, 38).

PRUDÊNCIO, L. R. J.; SANTOS, S.; DAFICO, D. DE A. Utilização de resíduos na construção habitacional. **Coletânea Habitare**, v. 4, 22 p. 2003.

RODRIGUES, D.; ORTIZ, L. **Em direção à sustentabilidade da produção de etanol de cana-de-açúcar no Brasil**. Instituto Vitae Civilis. Núcleo Amigos da Terra. 2006.

ROJAS, M.i.sánchez de; RIVERA, J.; FRÍAS, M.. *Influence of the microsilica state on pozzolanic reaction rate*. **Cement And Concrete Research**, [s.l.], v. 29, n. 6, p.945-949, jun. 1999. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0008-8846\(99\)00085-x](http://dx.doi.org/10.1016/s0008-8846(99)00085-x). Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S000888469900085X>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

SALES, Caroline Pessôa. **PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE CINZA DE CAPIM ELEFANTE COM VISTAS À SUA APLICAÇÃO COMO POZOLANA**. 2012. 139 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2012.

Disponível em: <[http://uenf.br/posgraduacao/engenharia-civil/wp-content/uploads/sites/3/2015/09/Caroline-Pess%C3%B4a-Sales\\_.compressed.pdf](http://uenf.br/posgraduacao/engenharia-civil/wp-content/uploads/sites/3/2015/09/Caroline-Pess%C3%B4a-Sales_.compressed.pdf)>. Acesso em: 18 jun. 2019.

SATA, V. **et al.** *Effect of W/B ratios on pozzolanic reaction of biomass ashes in Portland cement matrix.* **Cement And Concrete Composites**, [s.l.], v. 34, n. 1, p.94-100, jan. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2011.09.003>. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946511001600>>. Acesso em: 16 abr. 2019.

SOUZA, F. X. DE. Casca de arroz carbonizada: um substrato para a propagação de plantas. CNPAI/EMBRAPA. **Revista Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v.46, n.406, pp.1-11. 1993.

VAN RUIJVEN, Bas J. **et al.** *Long-term model-based projections of energy use and CO2 emissions from the global steel and cement industries.* **Resources, Conservation And Recycling**, [s.l.], v. 112, p.15-36, set. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.04.016>. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344916301008>>. Acesso em: 15 abr. 2019.

TAFAREL, Nathann Francisco **et al.** Avaliação das propriedades do concreto devido à incorporação de lodo de estação de tratamento de água. **Matéria (rio de Janeiro)**, [s.l.], v. 21, n. 4, p.974-986, dez. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620160004.0090>. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1517-70762016000400974](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762016000400974)>. Acesso em: 26 jun. 2019.

TUTIKIAN, B.F **Método para dosagem de concretos auto-adensáveis.** Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS, 2004.

ZHANG, M.h.; LASTRA, R.; MALHOTRA, V.M.. *Rice-husk ash paste and concrete: Some aspects of hydration and the microstructure of the interfacial zone between the aggregate and paste.* **Cement And Concrete Research**, [s.l.], v. 26, n. 6, p.963-977, jun. 1996. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0008-8846\(96\)00061-0](http://dx.doi.org/10.1016/0008-8846(96)00061-0). Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0008884696000610>>. Acesso em: 14 abr. 2019.