



# **CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

*Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016*  
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Alef Junior Oliveira Lima

## ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DA CINZA DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR NO CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

Palmas – TO

2018

Alef Junior Oliveira Lima

ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DA CINZA DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR  
NO CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Especialista. Fernando Moreno Suarte Junior.

Palmas – TO

2018

Alef Junior Oliveira Lima

ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DA CINZA DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR  
NO CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Especialista. Fernando Moreno Suarte Junior.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Especialista. Fernando Moreno Suarte Junior.  
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

---

Prof. Euzir Pinto Chagas  
Centro Universitário Luterano de Palmas

---

Prof. M.e. Murilo de Pádua Marcolini  
Centro Universitário Luterano de Palmas

Palmas – TO  
2018

## **AGRADECIMENTOS**

*Agradeço primeiramente a Deus por te me guiado durante essa etapa importante da minha vida, aos meus pais Jovenal Pereira Lima e Celeste Oliveira Santana que me deram todo apoio para que eu chegasse a minha formação e a minha Vó Maria Helena Pereira Lima pelos seus conselhos sábios, Maycon Ro Roosevett e a todos familiares.*

*Agradeço a minha namorada Michelly Menezes por sempre estar ao meu lado me incentivando. Agradeço também ao professor e orientador Fernando Moreno Suarte Junior que me orientou e compartilhou os seus conhecimentos para a elaboração deste trabalho.*

*Agradeço aos meus amigos Ana Alice Franco Sodré, Jackson Sodré, Cleiton Santos, Adedson Dias, Augusto César, Elizeu Cunha e Danilo Curado entre outros que fizeram parte dessa conquista.*

*E por fim agradeço de forma geral a todos os professores que me passaram conhecimentos específicos durante essa jornada e ao Técnico de laboratório Miller.*

## RESUMO

LIMA, Alef Junior Oliveira. **ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DA CINZA DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR NO CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas – TO, 2018.

O Brasil produz cana-de-açúcar em várias áreas, e segundo a FIESP/CIESP (2001) fez uma estimativa de que para cada tonelada de cana processada é gerado 260 kg de resíduo seco de bagaço, sendo assim, para cada tonelada de bagaço que alimenta a caldeira da usina (percentual de uso de 95%) é gerado 23,8 kg de cinza de bagaço, resíduo esse que na sua grande maioria acaba sendo descartado no meio do canavial. O bagaço é o resíduo sólido da produção de açúcar e álcool, destinado basicamente à geração de energia, nas formas térmica, mecânica e elétrica. Essa energia é capaz de suprir toda a demanda das unidades produtoras ainda gerar excedentes exportáveis à rede elétrica (BRASIL, 2007). A cana-de-açúcar além de ser um excelente material combustível para geração de energia termoelétrica, seu resíduo gerado no processo de incineração (cinza) tem propriedades de adição pozolânica, podendo substituir parcialmente teores de cimento Portland. O trabalho desenvolve estudo da cana-de-açúcar produzida no município de Pedro Afonso -TO, e propõe substituição nos teores de 0%, 5% e 10% de cimento Portland por cinza de bagaço. Foi analisado as propriedades físicas dos agregados miúdos, grãos, cinza de bagaço de cana-de-açúcar e as propriedades físicas do concreto no estado fresco e endurecido onde os resultados indica a queda da resistência quanto mais o teor de substituição e maior absorção de água e um peso específico mais leve com maior quantidade de substituição.

Palavras-chave: Concreto, Cinza do bagaço de cana-de-açúcar, Substituição.

## **ABSTRACT**

LIMA, Alef Junior Oliveira. **STUDY OF THE USE OF ASH OF SUGAR CANE BAGGAGE IN CEMENT PORTLAND CONCRETE.** Course Completion Work (Undergraduate) - Civil Engineering Course, University Center Luterano de Palmas, Palmas - TO, 2018.

Brazil produces sugar cane in several areas, and according to FIESP / CIESP (2001) it has been estimated that 260 kg of bagasse dry residue is generated for each tonne of processed sugarcane, thus, for each ton of bagasse which feeds the boiler of the plant (percentage of use of 95%) is generated 23.8 kg of bagasse ash, which residue is mostly discarded in the middle of the cane field. Bagasse is the solid residue of sugar and alcohol production, basically destined to the generation of energy, in the thermal, mechanical and electrical forms. This energy is able to supply all the demand of the producing units to generate surplus exportable to the electric grid (BRASIL, 2007). In addition to being an excellent fuel material for the generation of thermoelectric energy, its waste generated in the incineration process (ash) has properties of pozzolanic addition, which can partially replace Portland cement content. The work develops a study of the sugarcane produced in the municipality of Pedro Afonso-TO, and proposes substitution in the contents of 0%, 5% and 10% of Portland cement by bagasse ash. The physical properties of the small, large aggregates, sugarcane bagasse ash and the physical properties of the concrete in the fresh and hardened state were analyzed, where the results indicated the decrease of the resistance, the more the substitution content and the greater water absorption .

Keywords: Concrete, Sugarcane bagasse ash, Substitution.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Absorção
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	American Concrete Institute
C2S	Silicato de cálcio hidratado
C3A	Aluminato tricálcico
C3S	Silicato tricálcico
C4AF	Ferro aluminato tetracálcico
CBCA	Cinza do bagaço de cana-de-açúcar
CIESP	Centro das indústrias do estado de São Paulo
CO <sub>2</sub>	Gás Carbônico (dióxido de carbono)
CP	Cimento Portland
C-S-H	Silicato de cálcio hidratado
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura
FIESP	Federação das indústrias do estado de São Paulo
MPa	Mega Pascal
Ms	Massa seca
Msat	Massa saturada
TR	Traço Referencia
ÚNICA	União da indústria de cana-de-açúcar

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Principais países produtores de cana-de-açúcar.....	17
Figura 2: Mapa da produção de cana-de-açúcar e localização das usinas.....	18
Figura 3: Moagem brasileira de cana-de-açúcar .....	19
Figura 4 – Bagaço de cana-de-açúcar. ....	20
Figura 5 - Bagaço de cana-de-açúcar .....	21
Figura 6: Fluxo das etapas metodológicas. ....	30
Figura 7: Cinza do bagaço de cana-de-açúcar.....	31
Figura 8: Peneiramento por agitador mecânico.....	32
Figura 9: Ensaio de massa específica.....	33
Figura 10: Ensaio de massa unitária .....	34
Figura 11: Molde de corpos de prova cilíndricos. ....	35
Figura 12: Ensaio de resistência a compressão .....	37
Figura 13: Determinação através do frasco Le Chantelier.....	38
Figura 14: Análise granulométrica do agregado miúdo. ....	39
Figura 15: Análise granulométrica do agregado graúdo .....	40
Figura 16: Ensaio abatimento de tronco de cone .....	43
Figura 17: Resistências à compressão do traço referência. ....	45
Figura 18: Dispersão das resistências à compressão do traço referência. ....	45
Figura 19: Média das resistências à compressão do traço referência. ....	46
Figura 20: Resistências à compressão do traço 5%.....	47
Figura 21: Dispersão das resistências à compressão do traço com substituição de 5%. ....	47
Figura 22: Média das resistências à compressão do traço 5%.....	48
Figura 23 : Resistências à compressão do traço 10%.....	49
Figura 24: Dispersão das resistências à compressão do traço com substituição de 10%. ....	49
Figura 25 : Média das resistências à compressão do traço 10%.....	50
Figura 26: Reta de tendência a resistência a compressão do concreto com substituição do cimento Portland por CBC. ....	51
Figura 27: Resistências x Idade de Rompimento. ....	51
Figura 28: Média índice de absorção .....	53

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Influência das temperaturas nas propriedades da CBCA .....	22
Tabela 2: Compostos principais do cimento Portland.....	24
Tabela 3: Corpos de provas moldados.....	35
Tabela 4: Distribuição granulométrica do agregado miúdo.....	39
Tabela 5: Distribuição granulométrica do agregado graúdo .....	40
Tabela 6: Determinação da massa específica do agregado miúdo .....	41
Tabela 7: Determinação da massa específica do agregado graúdo .....	41
Tabela 8: Determinação da massa unitária do agregado miúdo.....	42
Tabela 9: Determinação da massa unitária do agregado graúdo .....	42
Tabela 10: Índice de consistência .....	43
Tabela 11: Resistência à compressão do traço referência. ....	44
Tabela 12: Resistência à compressão do traço referência. ....	46
Tabela 13: Resistência à compressão do traço referência. ....	48
Tabela 14: Absorção por imersão .....	53
Tabela 15: Determinação da densidade do concreto .....	54

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
1.1. PROBLEMA DE PESQUISA .....	12
1.2. HIPÓTESES .....	12
1.3. OBJETIVOS.....	13
<b>1.3.1. Objetivo Geral</b> .....	<b>13</b>
<b>1.3.2. Objetivos Específicos</b> .....	<b>13</b>
1.4. JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DO TRABALHO .....	13
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>15</b>
2.1. SUSTENTABILIDADE.....	15
2.2. CANA-DE-AÇUCAR.....	16
<b>2.2.1. Bagaço de cana-de-açúcar</b> .....	<b>18</b>
<b>2.2.2. Cinza do bagaço de cana-de-açúcar</b> .....	<b>20</b>
<b>2.2.3. Propriedades da CBCA</b> .....	<b>22</b>
2.3. CONCRETO .....	23
<b>2.3.1. Cimento Portland</b> .....	<b>23</b>
2.3.1.1. Definição e composição .....	23
2.3.1.2. Produção e hidratação .....	24
<b>2.3.2. Agregado</b> .....	<b>25</b>
<b>2.3.3. Adições minerais</b> .....	<b>25</b>
2.4. PROPRIEDADES FÍSICAS DO CONCRETO .....	27
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	<b>29</b>
3.1. OBJETO DE ESTUDO .....	29
3.2. MATERIAIS.....	31
<b>3.2.1. Cinza do bagaço da cana-de-açúcar</b> .....	<b>31</b>
3.2.1.1. Determinação da massa específica.....	31
<b>3.2.2. Cimento Portland</b> .....	<b>32</b>
<b>3.2.3. Agregados (miúdo e graúdo)</b> .....	<b>32</b>
3.2.3.1. Determinação granulométrica .....	32
3.2.3.2. Determinação da massa específica.....	33
3.2.3.3. Determinação da massa unitária .....	33
<b>3.2.4. Água</b> .....	<b>34</b>

3.3. DOSAGEM DO CONCRETO .....	34
<b>3.3.1. Corpos de prova.....</b>	<b>35</b>
<b>3.3.1. Cura.....</b>	<b>36</b>
3.4. CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO .....	36
<b>3.4.1. Ensaio de consistência do concreto.....</b>	<b>36</b>
3.5. CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO .....	36
<b>3.5.1. Ensaio de resistência à compressão .....</b>	<b>36</b>
<b>3.5.2. Determinação do índice de absorção de água e Peso específico .....</b>	<b>37</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>38</b>
4.1. CARACTERIZAÇÃO DA CINZA.....	38
<b>4.1.1 Determinação da massa específica .....</b>	<b>38</b>
4.2. CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO .....	38
<b>4.2.1. Distribuição granulométrica .....</b>	<b>38</b>
<b>4.2.2. Determinação da massa específica .....</b>	<b>41</b>
<b>4.2.3. Determinação da massa unitária.....</b>	<b>42</b>
4.4. CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO .....	43
<b>4.4.1 Determinação índice de consistência.....</b>	<b>43</b>
<b>4.5.1. Determinação da resistência à compressão .....</b>	<b>44</b>
4.5.1.1. Traço referência .....	44
4.5.1.2. Traço 5%.....	46
4.5.1.3. Traço 10%.....	48
4.5.1.4. Análise comparativa .....	50
<b>4.5.1 Determinação da absorção de água por imersão .....</b>	<b>52</b>
<b>4.5.2 Determinação densidade do concreto.....</b>	<b>54</b>
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	56
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>57</b>
<b>APÊNDICE .....</b>	<b>62</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Tomain *et al.* (2014) afirma que com a crescente preocupação em praticar a sustentabilidade em todos os âmbitos profissionais, a construção civil passa a se adaptar a realidade e buscar novos processos construtivos que possa atender as necessidades da população e ao mesmo tempo minimizar os impactos ambientais. Sabe-se que existe uma infinidade de resíduos que podem ser empregados na construção civil, um exemplo são os resíduos que geram consideráveis quantidades de cinzas, com destaque as cinzas minerais provenientes de atividades agroindustriais, que além de necessitar de condições específicas para sua disposição, apresenta altas porcentagens de sílica e outros óxidos que permite a sua utilização como pozolanas.

Rezende (2016) aponta que nos últimos anos a incidência de estudos a cerca da cinza do bagaço-de-açúcar vem contribuindo com sua reutilização dentro do concreto, visto que a presença predominante de sílica na composição química faz com que esse material se torne uma matéria-prima potencial na confecção de cimentos ou ainda como aditivo mineral para argamassas, pastas e concretos.

Este fato, alinhado a grande disposição destes resíduos que não possuem nenhuma aplicação útil faz com que novas soluções sejam buscadas para um descarte ideal. Como no Brasil a geração de cana-de-açúcar vem avançando em várias áreas a FIESP/CIESP (2001) fez uma estimativa de que para cada tonelada de cana processada é gerado 260 kg de resíduo seco de bagaço, sendo assim, para cada tonelada de bagaço que alimenta a caldeira da usina (percentual de uso de 95%) é gerado 23,8 kg de cinza de bagaço, resíduo esse que na sua grande maioria acaba sendo descartado no meio do canavial.

Segundo Paula (2006) ao incorporar um resíduo ao cimento Portland altera-se as características dos aglomerantes, entretanto, em condições específicas elas podem ser preservadas e/ou até melhoradas, além disso, e não menos importante a inserção do resíduo ao cimento pode reduzir a quantidade de clínquer utilizado no concreto/argamassa. Tal fato implica diretamente na redução dos impactos ambientais relacionados com a indústria cimenteira.

A reutilização da cinza do bagaço de cana quando empregada na confecção de argamassa, por exemplo, através da adição em substituição ao cimento pode

proporcionar resultados satisfatórios desde que o teor máximo de substituição seja de 20%, garantindo dessa forma propriedades físicas importantes tais como a resistência à compressão (PAULA, 2006).

A cinza que vai ser utilizada no estudo será coletada na usina citada acima, que para atender requisitos de sustentabilidade acaba sendo descartada no meio do canal para fertirrigação. Entretanto conforme referências já analisadas e apresentadas o material pode apresentar maiores benefícios se reaproveitados em outros meios, além de que seria a alternativa mais sustentável para o processo.

Dessa forma, o presente trabalho irá analisar através de ensaios de resistência a compressão, absorção e massa específica à adição da cinza do bagaço da cana-de-açúcar em substituição ao cimento Portland, com diferentes teores, na confecção de concreto.

### 1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

A cana-de-açúcar é cada vez mais cultivada no Brasil e por consequência há uma grande geração de resíduos provenientes desse material, como por exemplo, o bagaço.

Diante disso, seria possível utilizar cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBCA) como adição pozolânica substituindo teores de cimento Portland no concreto? E qual seria o teor ideal na substituição?

### 1.2. HIPÓTESES

- A substituição de teores de cimento no concreto irá melhorar as propriedades físicas;
- Reutilização do resíduo empregado no concreto pode minimizar o impacto ambiental;
- A adição da cinza em substituição do cimento pode prejudicar as propriedades físicas do concreto.

### 1.3. OBJETIVOS

#### 1.3.1. Objetivo Geral

Estudo da utilização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar através da substituição de diferentes teores do cimento Portland no concreto.

#### 1.3.2. Objetivos Específicos

- Coleta, classificação e determinação das propriedades físicas da cinza do bagaço da cana-de-açúcar;
- Realizar a caracterização física dos agregados;
- Determinar o traço com adição da cinza do bagaço de cana-de-açúcar, na substituição de teores de cimento Portland;
- Determinar as propriedades físicas e mecânicas do concreto através da resistência a compressão, absorção e densidade do concreto.

### 1.4. JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DO TRABALHO

Quando se trata de resíduos gerados sabe-se que tanto nas indústrias, quanto na construção civil são grandes geradores destes restos, que por consequência necessitam de um destino final adequado para que o seu descarte não seja feito de qualquer forma e em qualquer lugar, podendo vir a prejudicar o meio ambiente, assim como o ser humano. Constituída, basicamente, de sílica, SiO<sub>2</sub>, a CBCA tem potencial para ser utilizada como adição mineral, substituindo parte do cimento em argamassas e concretos (CORDEIRO; TOLEDO FILHO; FAIRBAIRN, 2009).

Diante desses fatos abordados anteriormente Fernandes (2014) afirma que na indústria sucroalcooleira, por diversos anos houve um amplo desafio correlação ao descarte das escórias geradas no método de fabricação de açúcar e álcool. Esse processo ocasionava problemas quando os resíduos estavam sendo lançado de qualquer forma no meio ambiente.

Paula (2006) afirma que ao incorporar um determinado resíduo ao Cimento Portland as características dos aglomerantes podem ser alteradas, todavia, em

determinados casos as características de desempenho dos novos componentes produzidos com aglomerantes na forma de adição de resíduos podem ser preservadas e/ou melhoradas, os resultados indicam a possibilidade de substituir até 20% do cimento Portland por cinzas de bagaço de cana-de-açúcar sem comprometer a resistência à compressão, entretanto já em relação à massa específica a substituição parcial de até 30% do cimento Portland não provocou nenhuma modificação. Já Nunes et al. (2008) conclui que a substituição de até 13% de cimento pelas cinzas produz um ganho considerável na resistência.

Além disso, essa incorporação de resíduo pode diminuir a quantidade de clínquer utilizada na confecção de concreto/argamassa, que para o ponto de vista ambiental ocasionaria menos impactos gerados pela indústria cimenteira. Cordeiro (2006) relata que além dos aspectos econômicos e ambientais, não se pode deixar de destacar as vantagens técnicas advindas da incorporação de materiais pozolânica ao concreto.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. SUSTENTABILIDADE

Veiga (2008) afirma que devido à transformação da economia e da sociedade surgiram desequilíbrios ambientais e sociais que provocaram um processo sucessivo de degradação, desperdício, poluição, entre outros aspectos. A partir de então começaram a surgir às primeiras ideias de sustentabilidade, no ano de 1972 na Conferência das Nações Unidas na Suíça.

De acordo com Corrêa (2009) o primeiro conceito para desenvolvimento sustentável ergue-se em meados da década de 80 por meio do Relatório de Brundtland, que propôs que desenvolvimento sustentável consistia na capacidade de atender as necessidades atuais sem impactar nas necessidades futuras.

Embora seja um conceito questionável por não definir quais as necessidades presentes e futuras, o relatório de Brundtland lançou um alerta sobre o dever de se buscar novas maneiras de desenvolvimento econômico, de forma a minimizar o uso de recursos naturais e conseqüentemente os danos ao meio ambiente (BARBOSA, 2008).

O desenvolvimento sustentável para Andrade, Tachizawa e Carvalho (2004) é a fonte da capacidade de gestão e dos recursos técnicos e financeiros primordiais para solução dos desafios ambientais e que não haja divergência entre a evolução econômica e os meios de proteção ambiental.

Para Cavalcanti (2003) sustentabilidade quer dizer a oportunidade de ser obter de forma contínua circunstâncias iguais ou superiores de vida para as pessoas e conseqüentemente para seus herdeiros em determinado ecossistema. Sendo assim, percebe-se que o termo faz referência a uma busca de práticas que venha a reduzir os impactos ambientais provocados pelo desenvolvimento social.

Um empreendimento de acordo com Cristina, Simões e Garcez (2011) pode ser considerado sustentável quando este for ecologicamente correto, economicamente viável e culturalmente aceito. Por conseqüência as ações ligadas ao termo são aos poucos inseridas no dia a dia, visto que a humanidade consumiu em grande parte o que a natureza tinha a oferecer e como fruto gerou resíduo.

Com a crescente propagação do conceito de sustentabilidade, muitos pesquisadores e organizações se preocuparam com a poluição de tal modo que começaram a revisar o processo produtivo para aquisição de uma tecnologia limpa e de reaproveitamento dos resíduos (CLARO, AMANCIO, CLARO, 2008).

Quando se trata da construção civil tem-se que ela é responsável por boa parte dos impactos ambientais devido a grande geração de resíduos e uso dos recursos naturais, dessa forma o setor passa a ter como meta as construções que minimizem o conflito com o meio ambiente. Ou melhor, com o passar do tempo vem se tornando possível construir usando materiais e tecnologias que garanta dois princípios básicos: a qualidade de vida e a preservação da natureza (CRISTINA, SIMÕES E GARCEZ, 2011).

## 2.2. CANA-DE-AÇUCAR

Originado no sudeste da Ásia, a cana-de-açúcar é um produto agrícola que é plantado no Brasil a partir da colonização portuguesa. A cana foi levada para o Brasil em 1532 por Martin Afonso de Sousa, sendo na região da mata nordestina como importante local para sua fabricação, desde então passou a ser consideravelmente importante para o Brasil. O valor da cana deve-se as várias utilizações diversificadas como na produção do etanol, açúcar, bebidas e etc. Vale ressaltar que a aplicação da cana-de-açúcar para fabricação de etanol e açúcar tem variado ao passar dos anos onde a produção do etanol na última década subiu gradativamente (BRASIL, 2007).

Segundo Ripoli, Ripoli (2004) a importância da cana-de-açúcar é pela suas várias formas de ser empregada, como matéria-prima para produção do álcool, açúcar e aguardente. Entretanto no Brasil seu principal destino é para fabricação do álcool e açúcar

Entre os vários subprodutos gerados a partir da cana-de-açúcar destaca-se a produção de energia elétrica através da queima do bagaço, a técnica de adubação que utiliza água de irrigação para levar nutriente ao solo cultivado e o resíduo pastoso que sobra após a destilação do caldo de cana fermentado para obtenção do álcool (RESENDE, 2016).

De acordo com Brasil (2007) ao longo do tempo a cana-de-açúcar tem diversificado sua aplicação para a produção de álcool e/ou açúcar, na década de

1970 a maior quantidade de cana era destinada para a transformação de açúcar, cerca de 90%, em 1980 o destino final da cana foi inverso depois da criação do PROALCOOL, na qual 80% da cana eram atribuídos para a produção de álcool. Com objetivo de fornecer para o país um meio de combustível alternativo e não muito poluente se equiparando aos combustíveis produzido de petróleo (TOMMASELLI et al, 2011). O etanol desempenha papel importante na economia brasileira, pois pode ser utilizado como combustível nos veículos flex-fuel (hidratado), misturado com a gasolina, com vista a baratear o combustível, aumentar sua octanagem e reduzir a emissão de poluentes (anidro), além da utilização na fabricação de tintas, vernizes, solventes, etc. (CONAB, 2017).

Segundo Conab (2017) o Brasil é atualmente o maior produtor da cana-de-açúcar do mundo, tendo uma enorme relevância para o agronegócio brasileiro, conforme mostrado na figura 1.

Figura 1: Principais países produtores de cana-de-açúcar

País	Área colhida (10 ha)>	Produção (10 t)	% Área colhida	Produtividade (t/ha)
<b>Brasil</b>	6,153	455,3	30,2	74,0
<b>Índia</b>	4,200	281,2	20,6	67,0
<b>China</b>	1,220	100,7	6,0	82,5
<b>México</b>	0,668	50,6	3,3	75,7
<b>Tailândia</b>	0,936	47,7	4,6	51,0
<b>Paquistão</b>	0,907	44,7	4,6	51,0
<b>Colômbia</b>	0,426	39,8	2,1	93,4
<b>Austrália</b>	0,415	38,2	2,0	92,0
<b>Indonésia</b>	0,370	30,2	1,8	81,6
<b>Estados Unidos</b>	0,364	26,8	1,8	73,6
<b>Outros</b>	4,713	276,2	23,1	58,6
<b>Total</b>	20,372	1.391,4	100,0	68,3

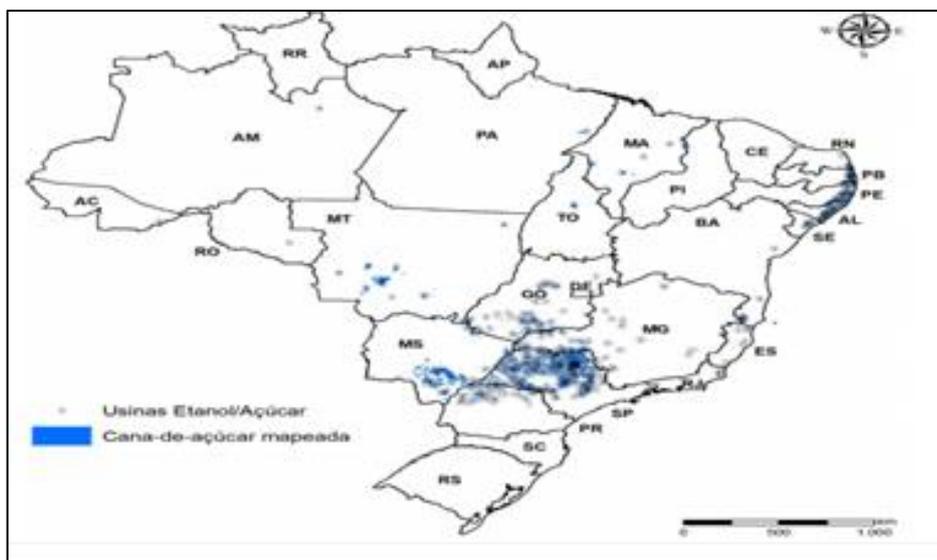
Fonte: FAO, 2008.

Conforme Brasil (2007) todos estados brasileiros são geradores de cana-de-açúcar conforme na figura 2. Entretanto o estado de São Paulo é superior aos outros, produzindo cerca 60% do total gerado nacionalmente, essa produção é bastante efetiva no país por ter um clima ideal para produção, todavia que o clima ideal é aquele que exhibe estações diferentes como um quente e úmida para

proporcionar a germinação, perfilhamento e desenvolvimento vegetativo; seguida de outra fria e seca, para promover a maturação e conseqüentemente acúmulo de sacarose.

Na figura 2 mostra o mapa da produção de cana-de-açúcar e a localização das usinas no Brasil.

Figura 2: Mapa da produção de cana-de-açúcar e localização das usinas.



Fonte: Conab, 2017.

Os principais resíduos sólidos gerados pelo setor sucroalcooleiros são a palha da cana, o bagaço da cana, a CBCA sendo classificados quanto à natureza como classe II, ou seja, escória não inertes com possibilidades de acarretar riscos a saúde e/ou ao meio ambiente; e as embalagens de defensivos agrícolas ou agrotóxicos, sendo classificados como classe I perigosos que apresenta risco a saúde devido as composições químicas presente (FIESP/CIESP, 2001).

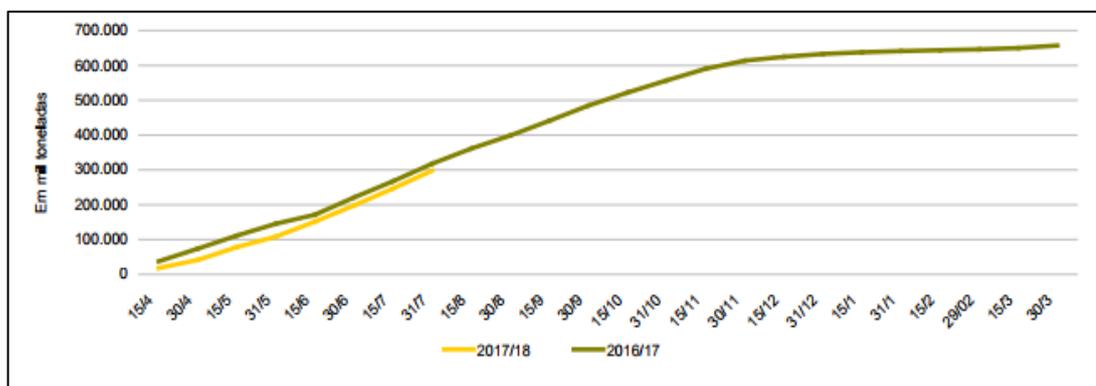
### 2.2.1. Bagaço de cana-de-açúcar

O bagaço de cana-de-açúcar segundo Silva, Gomes, Alsina (2007) é o resíduo agroindustrial mais adquirido em maior porção no Brasil, são gerado cada vez mais em grandes proporções através das amplas quantidades de área cultivada de cana, e com alto investimento do setor público na produção sucroalcooleira, são

estimados uma produção cerca de 5 a 12 milhões de toneladas anual desse resíduo que equivale perto de 30% do montante da cana moída.

A figura 3 demonstra a moagem de cana-de-açúcar nas safras 2016/17 e 2017/18.

Figura 3: Moagem brasileira de cana-de-açúcar



Fonte: Mapa, 2017.

O bagaço é o resíduo sólido da produção de açúcar e álcool, destinado basicamente à geração de energia, nas formas térmica, mecânica e elétrica. Essa energia é capaz de suprir toda a demanda das unidades produtoras ainda gerar excedentes exportáveis à rede elétrica (BRASIL, 2007).

A fabricação de cana-de-açúcar aumentou aos longos dos tempos, e junto surgiu um grande volume de resíduos, como o bagaço da cana que tem origem desse processamento. O bagaço da cana de açúcar, por exemplo, era considerado um problema ambiental, e uma das poucas vantagens comerciais era a sua destinação para alimentação de animais em confinamento, entretanto era utilizado em pequena quantidade frente aos volumes gerados nas usinas (REZENDE, 2016).

Cordeiro (2006) realça que o bagaço (figura 4) é gerado da moagem da cana para obtenção do açúcar e álcool, onde a constituição química do bagaço é em função da cultura da cana-de-açúcar, os tipos de fertilizantes e herbicidas e os fatores naturais que podem influenciar diretamente como o solo, clima e água.

Pandey et al. (2000) apud Cordeiro (2006) sua composição em base anidra é de aproximadamente 50% de celulose ( $C_5H_{10}O_5$ ), 25% de hemicelulose ( $C_5H_8O_4$ ) e 25% de lignina ( $C_7H_{10}O_3$ ).

Figura 4 – Bagaço de cana-de-açúcar.



Fonte: iStock by Getty Images, 2017.

Bocchi (2012) enfatiza que o bagaço derivado da cana-de-açúcar contém inúmeras aplicações na atualidade além da construção civil, assim como cosméticos, etanol de 2º geração, papel, madeira e a cogeração de energia que diz ser um meio alternativo, fazendo com que a queima do bagaço produzido no Brasil pode ser um grande diferencial para a sustentabilidade nos países, onde os canaviais do território brasileiro seriam capazes de produzir energia correspondente a da usina hidrelétrica de Itaipu, cerca de 14.000 MW, além disso, a uma complementaridade entre esses dois meios de geração elétrica, pois no período da seca onde as usinas hidrelétricas produzem menos energia onde se fica preocupante, usando as termelétricas, entretanto é o período onde tem carga adicional de energia produzida pelo bagaço (TAVARES, 2009).

### **2.2.2. Cinza do bagaço de cana-de-açúcar**

O bagaço da cana-de-açúcar tem seu uso alternado restrito, por isso uma porção de 90,0% desse resíduo tem destino às caldeiras para ser queimado e usado como combustível na produção de energia (CONAB, 2011).

Cerca de 3,8 milhões de toneladas de cinzas e resíduos do bagaço da cana-de-açúcar é gerado no espaço de um ano por cremação do bagaço nas sucroalcooleiras do Brasil, há alguns anos as indústrias nacionais queimam o bagaço e a palha de cana para geração de energia elétrica e para uso próprio,

entretanto as cinzas são usadas em seus canaviais como adubos. (VASCONCELOS, 2010)

O processo da queima do bagaço é executado em caldeiras, de acordo com um sistema chamado de cogeração, essa etapa é feita na produção a vapor, onde é o combustível das turbinas para o seu devido funcionamento, pois a partir da queima do bagaço que é classificada como uma fonte primária de energia. (FIOMARI, 2004).

Cordeiro (2006) realça que quanto mais elevada à temperatura e maior o tempo de exposição ao calor, são geradas cinzas de diferentes colorações e consequentemente é liberado maiores quantidades de carbono onde as cinza varia seus tons conforme na (figura 5) abaixo que mostra o bagaço e as cinzas produzidas nas caldeiras com tons mais escuros que caracterizam cinzas com alto teor de carbono e com tons mais brancos que indicam a combustão completa.

Figura 5 - Bagaço de cana-de-açúcar



Fonte: Cordeiro, 2006.

Sendo, (a) e diferentes cinzas residuais geradas após a queima do bagaço em caldeira: cinza escura com alto teor de carbono, característico de combustão incompleta (b), cinza com menor teor de carbono (c) e cinza gerada após a combustão completa (d).

A FIESP/CIESP (2001) por meios estatísticos levantou a seguinte estimativa de geração de cinzas: para uma tonelada de cana produzida são originados 260 kg bagaço no ato da moagem e para cada tonelada de bagaço que utilizado como combustível nas caldeiras, sendo que 95% do uso do bagaço são destinados à queima, portanto a estimativa de cinza gerada é de 23,8 kg por tonelada de bagaço.

### 2.2.3. Propriedades da CBCA

Segundo Paula (2006) as propriedades da cinza do bagaço de cana-de-açúcar baseiam-se nas condições do processo de incineração.

A tabela 1 mostra como a temperatura pode influenciar na constituição das fases amorfa e/ou cristalina da cinza no processo da queima.

Tabela 1: Influência das temperaturas nas propriedades da CBCA

Temperatura de queima do bagaço de cana-de-açúcar (°C)	Modificações ocorridas durante o processo de queima do bagaço
<100°	Inicialmente, a perda de massa ocorrida à temperatura até 100° C resulta da evaporação da água absorvida .
> 350°	À cerca de 350° C inicia a ignição do material mais volátil. Dando início a queima do bagaço da cana-de-açúcar.
400° < T < 500°	Entre 400 e 500° C, o carbono residual é oxidado, sendo neste estágio observada a perda mais substancial da massa. Após esta etapa a cinza torna-se rica em sílica amorfa;
> 700°	O emprego de temperaturas acima de 700° C pode levar a formação de quartzo, e níveis ainda mais elevados de temperatura podem acarretar na formação de outras formas cristalinas.
> 800°	Acima de 800° C, a sílica presente na CBCA é essencialmente cristalina.

Fonte: Autor (2018), adaptado de Paula (2006).

Para Cordeiro (2006) a temperatura da queima é um dos fatores responsáveis pela atividade pozolânica da cinza assim como outros aspectos que também são responsáveis pela ação pozolânica da cinza.

Além disso, a CBCA é composta quimicamente de enormes quantidades de dióxido de silício, normalmente acima de 60% em massa, onde a cinza apresenta um alto teor de sílica, o silício é proveniente do solo através de raízes na forma de monossílico (H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>) onde posteriormente a retirada da água das plantas por transpiração, remete na parede externa das células da epiderme como sílica gel ou mesmo uma nova provável fonte de sílica para a cinza é a areia de quartzo proveniente da lavoura, que ao longo do momento de lavagem no procedimento da cana-de-açúcar não é completamente retirada, portanto essa areia permanece no bagaço. O acúmulo de sílica entre a cutícula e a parede das células da epiderme trabalha como uma barreira física à penetração de fungos patogênicos e diminui as perdas de água por transpiração (BARBOZA FILHO e PRABHU, 2002).

## 2.3. CONCRETO

De acordo com Mehta e Monteiro (2008) o concreto é composto por partículas de agregado envolvidas por uma massa de cimento que pode ter adições ou não, esses materiais quando misturados forma um componente de alta resistência.

O concreto é o material mais usado na construção, normalmente feito com mistura de areia, pedra e água. O concreto é o material mais usado na engenharia primeiramente por ter excelente resistência à água e a segunda razão é para o uso, a grande facilidade com elementos estruturais de concreto podem ser executados, numa variedade de formas e tamanhos e por fim a terceira razão é o material mais barato e mais facilmente disponível no canteiro de obra (MEHTA E MONTEIRO 1994).

### 2.3.1. Cimento Portland

#### 2.3.1.1. Definição e composição

Segundo a ABNT NBR 5732/1991 o cimento Portland se define como um "Aglomerante hidráulico obtido pela moagem do clínquer Portland ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Durante a moagem é permitido adicionar a esta mistura materiais pozolânicos, escórias granuladas de alto-forno e/ou materiais carbonáticos em teores especificados pela Norma".

Para Macedo (2009) o Cimento Portland é o aglomerante hidráulico mais importante para a fabricação do concreto moderno, nas indústrias cimenteira além de ser encarregado pelo envio de grande parte de dióxido de carbono o CP além de tudo consome grandes proporções de energias.

Neville (2016) diz que se pode constatar que o Cimento Portland é um material constituído principalmente de material calcário, como rocha calcaria ou gesso, e alumina e sílica, encontrados como argilas ou xisto.

Para Bauer (2014) o Cimento Portland é constituído por elementos fundamentais, cal (CaO), a sílica (SiO<sub>2</sub>), a alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), o oxido de ferro onde é a essência do CP, todavia que essas quatro substancias fazem de 95 a 96% do total da análise de oxido. Determinada parcela de magnésia (MgO) que permanece

do andamento de calcinação esta na proporção de 2 a 3% e uma pequena fração de anidro sulfúrico (SO<sub>3</sub>) e ainda alguns constituintes de menores importâncias.

Diante desse processo anteriormente e combinações químicas, o Cimento Portland forma os seguintes compostos (tabela 2):

Tabela 2: Compostos principais do cimento Portland

Composto	Composição	Abreviação
Silicato tricálcico	3CaO.SiO <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> S
Silicato bicálcico	2CaO.SiO <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> S
Aluminato tricálcico	3CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>3</sub> A
Ferro aluminato tetracálcico	4CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>4</sub> AF

Fonte: Autor (2017), adaptado de Bauer (2014).

### 2.3.1.2. Produção e hidratação

Para Bauer (2014) com os constituintes do cimento já pulverizada e homogeneizada, a matéria prima exposta a ação do calor no forno produtor de cimento até a temperatura de fusão inicial e forma pelotas, denominadas de clínquer, diz ele que o clínquer é um produto de natureza granular resultante da calcinação. Nesse meio tempo ele é resfriado e moído em conjunto com pequena quantidade de gesso, onde resulta o Cimento Portland (NEVILLE, 2016).

Bauer (2014) diz que é fundamental ter conhecimento referente às proporções das composições constituintes no cimento, pois esses constituintes que determina a ligação entre este e as propriedades finais do cimento e do concreto.

O silicato tricálcico (C<sub>3</sub>S) é o maior responsável pela resistência em todas as idades, especialmente até o fim do primeiro mês de cura, pois ele apresenta rápida hidratação e desprende uma quantidade média de calor quando comprado a outras fases.

Já o silicato bicalcico (C<sub>2</sub>S), atinge grande importância na fase de endurecimento ao longo do tempo, com ganho das resistências final há um ano ou mais e solta uma porção pequena e lenta de calor na sua hidratação.

O aluminato tricalcico (C<sub>3</sub>A) contribui para a resistência, principalmente no primeiro dia, o calor de hidratação e o principal responsável pela pega e endurecimento no início do período de cura.

Ferro aluminato tetracálcico (C4AF) não contribui para resistência e tem sua hidratação rápida com semelhança ao C3A exercendo baixa influência sobre as propriedades da pasta (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

### **2.3.2. Agregado**

Bauer (2014) define os agregados como um material com partículas, incoesivo, com atividade química perto de nula e constituída de combinação de partículas, e com ampla gama de tamanhos.

Além disso, os agregados se classificam de acordo com a origem (naturais e industrializados) dimensões das partículas (miúdo e graúdo) e o peso específico aparente (leves, médios e pesados).

Segundo ABNT NBR 7211(2009) o agregado pode ser miúdo ou graúdo:

- Agregado miúdo: cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.
- Agregado graúdo: Agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.

Conforme Mehta e Monteiro (2008) a característica do agregado é fundamental para a tecnologia do concreto, pois a porosidade, composição granulométrica, absorção de água, forma e textura superficial das partículas e influencia diretamente resistência à compressão, dureza e modo de elasticidade, que por sua vez tem influência em varias propriedades do concreto, essa característica vem da composição da rocha onde foi submetida para retirada do agregado.

### **2.3.3. Adições minerais**

A ABNT NBR 11172/1990 recomenda a utilização do termo “adição” para designar “produto de origem mineral adicionado aos cimentos, argamassas e concretos, com a finalidade de alterar suas características” e do termo “aditivo” para

“produto químico adicionado em pequenos teores às caldas, argamassas e concretos com a finalidade de alterar suas características no estado fresco e/ou no endurecido”.

Para Mehta e Monteiro (2008) os aditivos minerais são materiais siliciosos finamente moídos, adicionado ao concreto em quantidades relativamente grandes, geralmente na faixa de 20 a 100% da massa do cimento Portland.

Além disso, o emprego de aditivos minerais gera uma grande vantagem, pois quando o concreto vai ser exposto à temperatura o aditivo mineral beneficia pela ativação térmica, ou seja, a aceleração da reação pozolânica.

Segundo Cordeiro (2006) adições minerais tem objetivo de juntamente ao cimento Portland propiciar um desempenho tecnológico diferenciado ao cimento, podendo haver redução de custo no ato da substituição de uma proporção e reduzindo os impactos ambientais, todavia que os aditivos minerais são colhidos a partir da geração de resíduos industriais e agroindústrias.

De acordo com Carmo, Portela, Valduga (2007) a sílica ativa, metacaulim, escoria de alto forno e cinza volante são as principais adições minerais utilizadas em concretos e argamassas. A sílica ativa é um subproduto industrial da produção das ligas de ferro-silício e/ou silício metálico. O metacaulim é uma dição alumino-slicosa produzida a partir da calcinação de argilas. E as escoria de alto forno e cinzas As escórias granuladas de alto-forno são subprodutos não metálicos oriundos da indústria de ferro gusa. A cinza volante, que é a pozolona mais empregada na fabricação do cimento, é um subproduto originado da queima de carvão mineral para a produção de energia elétrica, principalmente das usinas termoelétricas.

Segundo Molin Filho et al. (2014) a utilização de resíduos industriais na construção civil vem contribuindo de maneira representativa para extração de resíduos do meio ambiente. Ficou evidente em seu trabalho que a substituição parcial do cimento Portland por CBCA contribui para reduzir a corrosão, portanto ocorreram ganhos na durabilidade do concreto.

Já para cordeiro (2006) com resultados obtidos foram consideráveis, levando em consideração que a moagem e o controle de queima da cinza, foram fatores importantes para produção de concreto de alto desempenho tecnológico, mantendo as propriedades mecânicas de durabilidade e preservando as propriedades reológicas.

Sessa (2013) concluiu que a substituição da cinza pelo cimento Portland melhorou as propriedades do concreto no estado fresco, já com relação às propriedades mecânicas o emprego da cinza reduziu à resistência a compressão comparando ao traço referencia, ressaltando que a cinza do seu trabalho teve um baixo índice de atividade pozolânica substituindo teores de 20 e 40%, mas com uma resistência de 25 Mpa aplicáveis em construções.

Rezende (2011) diz que a melhora da cinza do bagaço de cana-de-açúcar como compósitos cimentícios já foi evidenciada por diversos pesquisadores e no seu trabalho se mostrou viável para as substituições dos teores em 10, 20 e 30% e possibilitam agregar benefícios ambientais como na redução de CO<sub>2</sub> na atmosfera na produção do cimento Portland.

De acordo com Macedo (2009) a substituição parcial do CP por Cinza do bagaço de cana-de-açúcar para argamassa em todos os teores propiciou a redução da absorção por capilaridade, dificultando o ingresso de agentes agressivos a argamassa.

Para Silveira (2010) a substituição de parcial do Cimento Portland no teor de 10% para o concreto convencional e de alto desempenho é bastante eficaz, onde esse possibilitou a manutenção no desempenho mecânico e houve ganho na durabilidade em relação a absorção capilar, por imersão e permeabilidade.

## 2.4. PROPRIEDADES FÍSICAS DO CONCRETO

Segundo Mehta e Monteiro (1994) resistência é a medida da tensão exigida para romper o material, o concreto é o material considerado mais apropriado para suportar a carga de compressão, assim a resistência a compressão é uma função realizada pelo procedimento de hidratação do cimento, a resistência a compressão é definida lentamente, portanto é necessário elaborar corpos de provas em condições específicas de temperatura e umidade por um período de 28 dias.

Para Neville (1997) o ensaio de resistência à compressão é o mais partilhado do concreto no estado endurecido, além ser o mais fácil, apesar de que nem toda a característica do concreto são encontrados a partir deste ensaio. Os resultados dependem de fatores importantes que podem variar: tipo de corpo de prova; tamanho de corpo de prova; tipo de molde; preparação dos topos; rigidez da máquina de ensaio e velocidade de aplicação de tensão.

A resistência à tração de acordo com Mehta e Monteiro (1994) é de ordem de 10 a 15% da resistência a compressão, onde a diferença é determinada pela forma de atribuição a estrutura heterogênea e complexa do concreto.

Neville (1997) relata que o concreto não é projetado para resistir à tração, o conhecimento sobre resistência a tração é aproveitável para estimar a qual carga ocorre às fissuras, pois são muito importantes para manter a conservação de uma estrutura de concreto. A resistência a tração é realizada por três tipos de ensaios: tração direta, tração a flexão e tração diametral.

No estado fresco um dos fatores importantes é o ensaio de abatimento que tem função de fornecer um método simples e adequado para controlar a uniformidade da produção do concreto (MEHTA E MONTEIRO, 1994).

Segundo Neville (1997) o ensaio de abatimento não determina a trabalhabilidade do concreto, mais sim a detecção de variações da uniformidade de uma mistura com determinadas proporções nominais.

### 3. METODOLOGIA

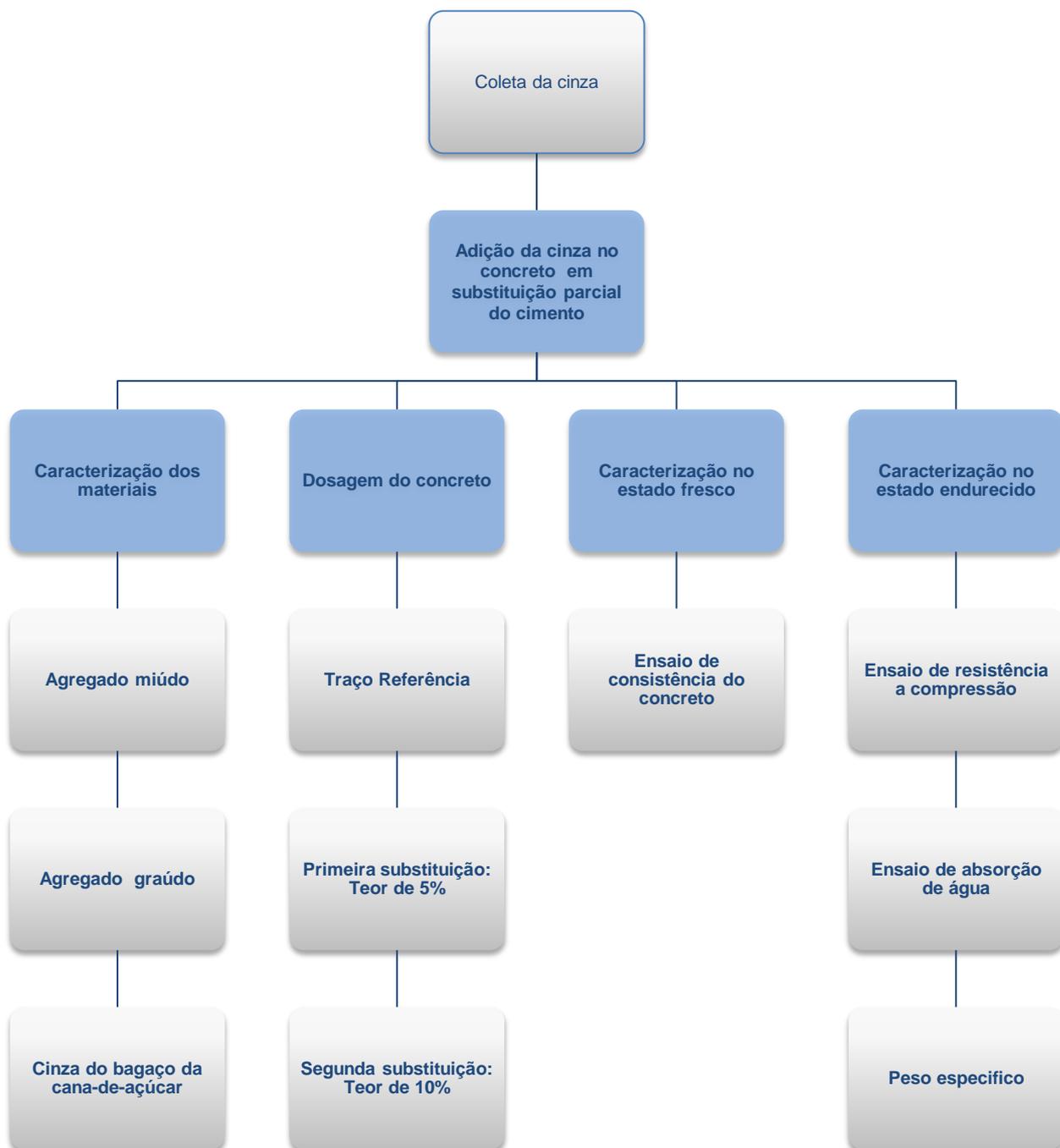
Este estudo é classificado como qualitativo e exploratório, sendo assim, o presente capítulo descreverá os procedimentos, equipamentos e locais para o desenvolvimento do trabalho proposto, tendo como base processos estabelecidos por normas e teses para a confecção de corpos de prova cujo intuito é a mensuração de algumas propriedades do concreto confeccionado.

#### 3.1. OBJETO DE ESTUDO

O objeto de estudo do trabalho em questão foi a utilização de materiais alternativos na confecção de concreto, de maneira mais específica o material utilizado foi a cinza do bagaço da cana-de-açúcar que adicionado ao concreto substituirá em diferentes teores o Cimento Portland.

Os procedimentos necessários para caracterização dos materiais assim como a confecção do concreto foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção do Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA) por meio de ensaios físicos normatizados pela ABNT. Na sequência da caracterização, o concreto foi confeccionado e ensaiado para a mensuração da sua resistência à compressão, absorção de água e peso específico. A ordem de realização dos procedimentos pode ser observada a seguir por meio do fluxograma (figura 6).

Figura 6: Fluxo das etapas metodológicas.



Fonte: Autor, 2018.

## 3.2. MATERIAIS

Os materiais que foram utilizados no processo são os elencados a seguir:

### 3.2.1. Cinza do bagaço da cana-de-açúcar

A cinza do bagaço da cana-de-açúcar, um dos materiais utilizados no processo de fabricação do concreto em estudo, será coletada em uma indústria no Estado do Tocantins que tem como uns dos processos a queima do bagaço.

As cinzas foram coletadas em sacos plásticos e livres de furo para evitar o contato do material com água, já o transporte ocorreu por meio de veículo particular partindo direto da indústria para o laboratório do CEULP/ULBRA onde permaneceram armazenadas em local apropriado até a execução dos ensaios

Figura 7: Cinza do bagaço de cana-de-açúcar



Fonte: Autor, 2018

Antes da execução dos ensaios e início dos procedimentos a cinza do bagaço da cana-de-açúcar foi submetida ao peneiramento na peneira 2,4mm para retirada de algum outro resíduo e em seguida a uma moagem por 15 minutos e peneiramento, sendo o material utilizado o passante na peneira de abertura número 200  $\mu\text{m}$  (0,075 mm). Esse processo foi feito para classifica-la como material fino.

#### 3.2.1.1. Determinação da massa específica

A massa específica da cinza foi determinada, utilizando o frasco volumétrico de Le Chatelier seguindo a ABNT NBR NM 23 (2001).

### 3.2.2. Cimento Portland

O cimento utilizado durante todo o processo do trabalho foi o CP II F-32 cujo intuito era trabalhar com um cimento com a menor proporção de adições minerais.

### 3.2.3. Agregados (miúdo e graúdo)

O agregado miúdo que foi empregado para confecção do concreto foi a areia lavada proveniente das jazidas regionais. Sendo caracterizado quanto a granulometria, a massa unitária e a massa específica. Já o agregado graúdo foi do tipo brita também adquirido nas jazidas da região e caracterizado pelos mesmos ensaios do agregado miúdo.

#### 3.2.3.1. Determinação granulométrica

A análise granulométrica do agregado (miúdo e graúdo) foi feita por meio da ABNT NBR NM 248 (2003) através de peneiramento por meio de um agitador mecânico, conforme figura 8.

Figura 8: Peneiramento por agitador mecânico

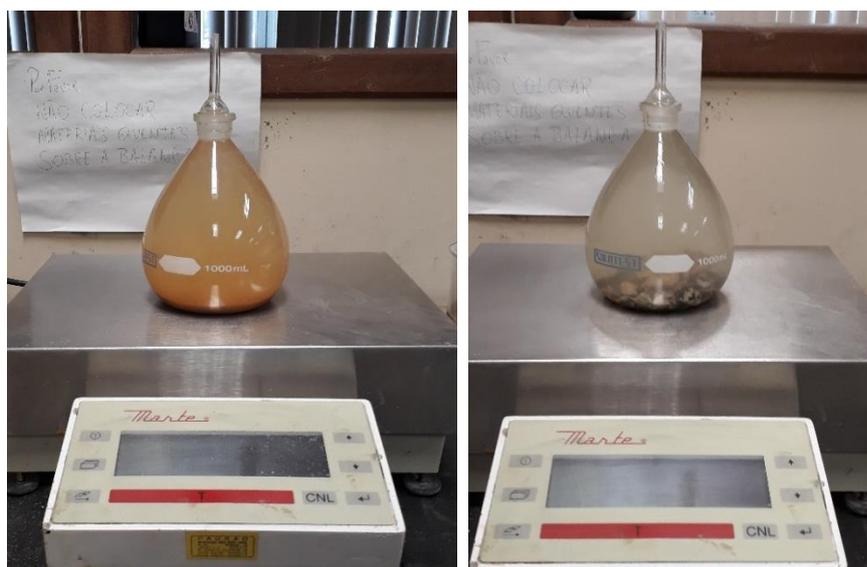


Fonte: Autor, 2018.

### 3.2.3.2. Determinação da massa específica

A determinação da massa específica para o agregado miúdo e graúdo foi feita através da utilização do picnômetro (figura 9), e por meio da ABNT NBR 6508 (1984), já que procedimentos mais atualizados ainda não se encontram disponíveis no laboratório da instituição.

Figura 9: Ensaio de massa específica



Fonte: Autor, 2018.

### 3.2.3.3. Determinação da massa unitária

A massa unitária do agregado seguiu os procedimentos estabelecidos na ABNT NBR 7251 (1982), justifica-se a utilização da norma antiga visto que o laboratório da instituição ainda não possui o recipiente próprio para aplicação da norma vigente. O resultado é obtido pelo quociente da massa do agregado pelo volume do recipiente, a figura 10 ilustra o procedimento.

Figura 10: Ensaio de massa unitária



Fonte: Autor, 2018.

#### 3.2.4. Água

Foi utilizada água limpa e sem impurezas coletada no Laboratório de Construção Civil do CEULP/ULBRA.

#### 3.3. DOSAGEM DO CONCRETO

O concreto foi confeccionado em cima do traço referência em volume de 1:1,56 :2,17 com fator água cimento de 0,6 que é mostrado no APÊNDICE A obtido por meio do método *American Concrete Institute* (ACI), com resistência pré-estabelecida de 20 MPa seguindo valores referência do Sinduscon e um controle razoável (sd) de 4 MPa, no qual foi realizada a substituição da cinza do bagaço da cana-de-açúcar em dois diferentes teores na proporção de 5% e 10% para substituir o cimento Portland. Visto que de acordo com Paula (2006) é recomendável a sua substituição em até 20% sem prejudicar a resistência. A confecção ocorreu no laboratório de materiais de construção da instituição de ensino, através da mistura por betoneira, e na sequência foram moldados os corpos de prova para ensaios de acordo com a tabela 3.

Tabela 3: Corpos de provas moldados.

Traços	Abatimento	N° de corpos prova para Resist. Comp. axial				N° de corpos prova Absorção e M. Especifica.				Fck (MPa)	Fcj (MPa)
		Idade (dias)				Idade (dias)					
		3	7	14	28	3	7	14	28		
TR	10±2	3	3	3	3	-	-	-	3	20	26,6
TR + 5%	10±2	3	3	3	3	-	-	-	3	20	26,6
TR + 10%	10±2	3	3	3	3	-	-	-	3	20	26,6

Fonte: Autor (2018).

### 3.3.1. Corpos de prova

Após as substituições da cinza do bagaço da cana-de-açúcar pelo cimento foram moldados 45 (quarenta e cinco) corpos de prova cilíndricos (figura 8), sendo 12 (doze) para a proporção de substituição de 5%, 12 (doze) para 10% e 12 (doze) para o traço padrão, ressalta-se que este último foi executado para comparação final entre as propriedades físicas do concreto comum e do concreto com material adicionado em substituição. A distribuição de 36 (trinta e seis) foi de acordo com a norma que estabelece no mínimo 3 (três) moldes para cada idade de rompimento e 9 (nove) para os outros dois ensaios de absorção e para a determinação do peso específico do concreto. As dimensões dos corpos cilíndricos foram de 10x20.

Figura 11: Molde de corpos de prova cilíndricos.



Fonte: Autor, 2018.

### **3.3.1. Cura**

Os corpos de provas foram desmoldados 24 (horas) após a sua confecção e submetidos na sequência ao processo de cura no laboratório de materiais de construção da instituição, atendendo os critérios da ABNT NBR 5738 (2015). O processo de cura para esses elementos consistiu na imersão total dos mesmos em um tanque de água, onde permaneceram até as datas previstas para realização do ensaio de resistência a compressão axial.

## **3.4. CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO**

### **3.4.1. Ensaio de consistência do concreto**

O ensaio de consistência do concreto foi realizado atendendo as exigências da ABNT NBR NM 67 (1998). Este também é caracterizado como ensaio de abatimento do tronco de cone que se baseia na utilização de uma base, um molde (formato de tronco de cone oco) e uma haste de socamento. Em relação ao concreto os resultados foram considerados satisfatórios de acordo com a norma apresentou um abatimento igual ou superior a 10 mm conforme na figura11. Ressalta-se ainda que o tempo de duração para este ensaio não ultrapassou o período de 5 minutos, desde a coleta da amostra, até o seu desmolde.

## **3.5. CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO**

### **3.5.1. Ensaio de resistência à compressão**

O ensaio de resistência à compressão, assim como os outros ensaios, também foi feito no laboratório da instituição. Este atendeu os procedimentos da ABNT NBR 5739 (2007) e foi feito na máquina universal, de marca EMIC, com carga de capacidade de 30 tf.

Os corpos de prova foram rompidos nas idades de 3 (três), 7 (sete), 14 (quatorze) e 28 (vinte e oito) dias, com um número de 3 amostras para cada idade de rompimento.

Figura 12: Ensaio de resistência a compressão



Fonte: Autor, 2018.

Os resultados encontrados neste ensaio atende aos limites máximo e mínimo do desvio padrão, sendo desconsiderados aqueles que ultrapassaram esses limites.

### **3.5.2. Determinação do índice de absorção de água e Peso específico**

A determinação da absorção (A) de água por imersão foi feita no laboratório de materiais de construção da instituição por meio da ABNT NBR 9778 (2009) – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica Argamassa e concreto. O ensaio decorreu no laboratório de matérias de construção do CEULP/ULBRA e após determinar sua massa seco determinar a densidade do concreto.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. CARACTERIZAÇÃO DA CINZA

#### 4.1.1 Determinação da massa específica

A massa específica da cinza do bagaço de cana-de-açúcar foi realizada em um frasco Le Chantelier de acordo com a norma foram obtidos os valores de (V1) e (V2) e assim determinada a massa específica de  $2510\text{kg/m}^3$ .

Figura 13: Determinação através do frasco Le Chantelier



Fonte: Autor, 2018.

### 4.2. CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO

#### 4.2.1. Distribuição granulométrica

As tabelas 4 e 5 apresentam os valores encontrados nas amostras em relação a determinação granulométrica do agregado miúdo e do agregado graúdo, respectivamente. Já as figuras 14 e 15 mostram a zona que os agregados se encontram, devido a sua distribuição granulométrica.

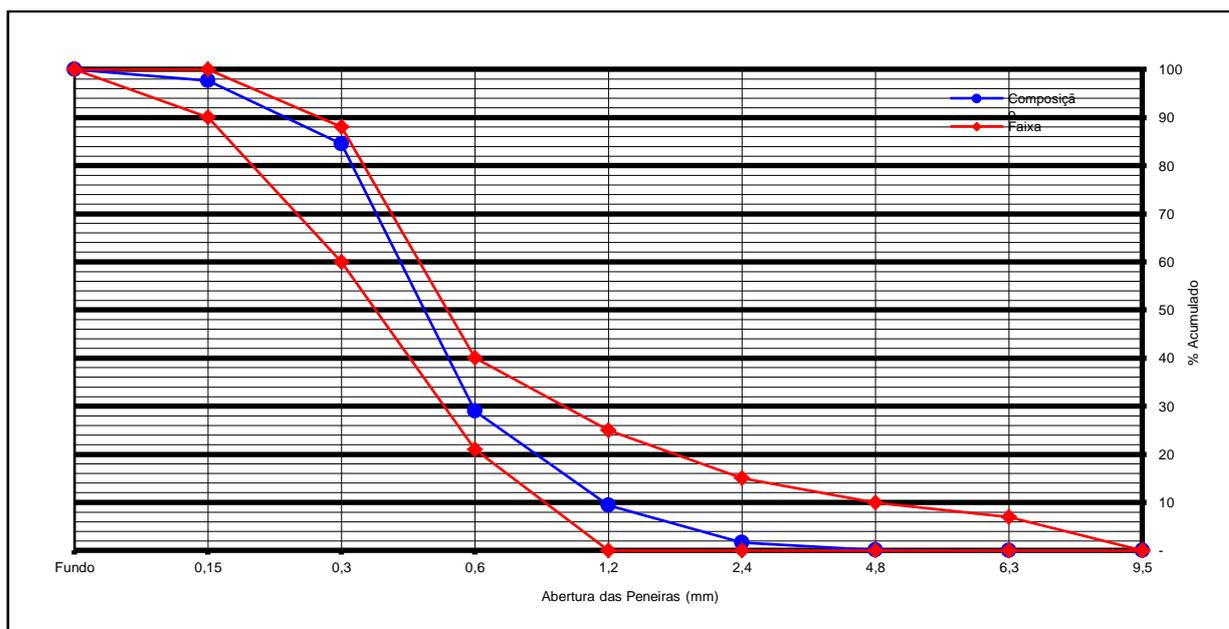
Tabela 4: Distribuição granulométrica do agregado miúdo

Peneiras	1° Determinação			2° Determinação			Média % Retida	
	Massa retida (g)	% Retida		Massa retida (g)	% Retida		Simples	Acumul.
		Simples	Acumul.		Simples	Acumul.		
4,8	1,00	0,20	0,20	0,30	0,06	0,06	0,13	0,13
2,4	7,50	1,50	1,70	7,60	1,52	1,58	1,51	1,64
1,2	37,50	7,50	9,20	39,60	7,92	9,50	7,71	9,35
0,6	97,30	19,46	28,66	98,60	19,72	29,22	19,59	28,94
0,3	283,60	56,72	85,38	272,20	54,44	83,66	55,58	84,52
0,15	61,50	12,30	97,68	70,40	14,08	97,74	13,19	97,71
Fundo	11,60	2,32	100,00	11,30	2,26	100,00	2,29	100,00
<b>Total</b>	<b>500,00</b>	<b>100,00</b>		<b>500,00</b>	<b>100,00</b>		<b>100,00</b>	

Fonte: Autor, 2018.

Os valores encontrados atendem as exigências da ABNT NBR NM 248 (2003), visto que não ultrapassam os limites estabelecidos por ela. Tais como, a diferença do somatório do material que não diferiu mais que 0,3% da massa da amostra e as porcentagens individuais retidas não diferiram mais que 4% entre si.

Figura 14: Análise granulométrica do agregado miúdo.



Fonte: Autor, 2018.

Em conformidade com o ensaio granulométrico, foi possível observar o comportamento da curva granulométrica e determinar que devido à faixa de domínio o agregado em questão é classificado como areia fina, por estar na zona 2 .

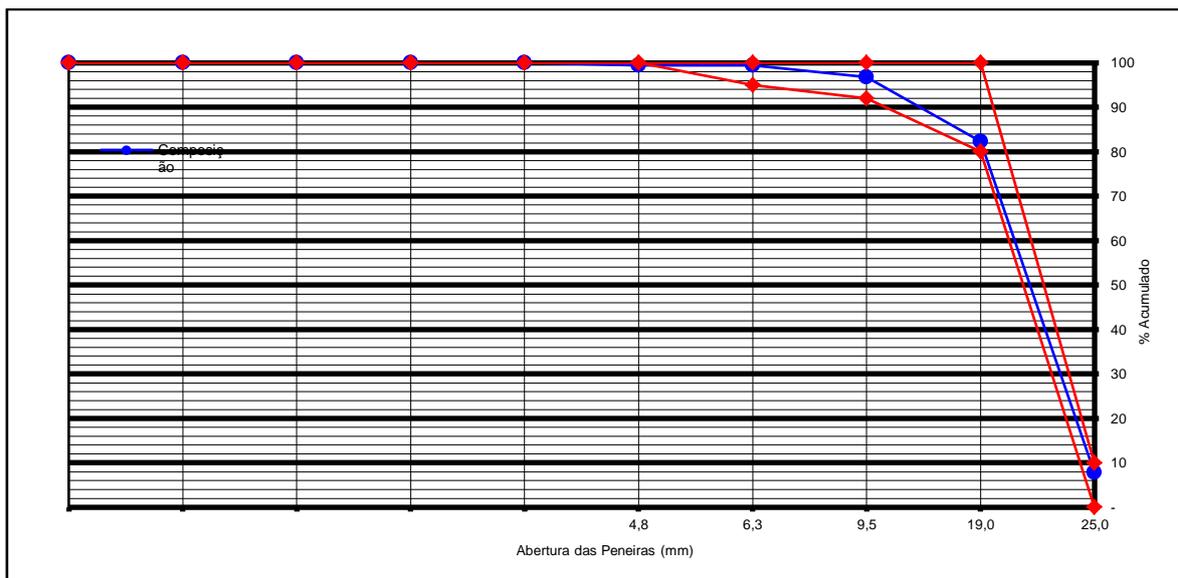
Tabela 5: Distribuição granulométrica do agregado graúdo

Peneiras	1° Determinação			2° Determinação			Média % Retida	
	Massa retida (g)	% Retida		Massa retida (g)	% Retida		Simples	Acumul.
		Simples	Acumul.		Simples	Acumul.		
25,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19,0	77,80	7,78	7,78	78,20	7,82	7,82	7,80	7,80
12,5	744,70	74,47	82,25	746,20	74,62	82,44	74,55	82,35
9,5	145,50	14,55	96,80	144,30	14,43	96,87	14,49	96,84
6,3	26,20	2,62	99,42	25,10	2,51	99,38	2,57	99,40
4,8	0,90	0,09	99,51	0,80	0,08	99,46	0,09	99,49
2,4	4,90	0,49	100,00	5,40	0,54	100,00	0,52	100,00
<b>Total</b>	<b>1000,00</b>	<b>100,00</b>		<b>1000,00</b>	<b>100,00</b>		<b>100,00</b>	

Fonte: Autor, 2018.

Já para o agregado graúdo, por meio de observação da curva granulométrica, é possível definir o mesmo como agregado brita 1, visto que o comportamento da curva se encontra dentro da zona 1.

Figura 15: Análise granulométrica do agregado graúdo



Fonte: Autor, 2018.

#### 4.2.2. Determinação da massa específica

Para obtenção da massa específica foram feitas duas determinações para cada agregado, por meio da ABNT NBR 6508 (1984) que utiliza o picnômetro para determinação. Os dados obtidos são os elencados a seguir (tabela 6 e 7):

Tabela 6: Determinação da massa específica do agregado miúdo

Picnômetro nº	#	1	2
Massa Picnômetro + Areia + Água	(g)	1324,70	1325,20
Massa Picnômetro Cheio de Água	(g)	1201,80	1201,80
Temperatura de Ensaio	(°C)	24	24
Massa Material Seco	(g)	200	200
Massa Específica da Água, T°C de Ensaio	(g/cm <sup>3</sup> )	0,9981	0,9981
Massa Específica	(g/cm <sup>3</sup> )	2,594	2,611
<b>Massa Específica Média</b>	<b>(g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2,602</b>	

Fonte: Autor, 2018.

Em concordância com a norma citada anteriormente, os resultados são considerados como satisfatórios, visto que não apresentaram diferença superior que 0,02 g/cm<sup>3</sup>. Diante disso, a massa específica do agregado miúdo determinado pelo ensaio é de 2,602 g/cm<sup>3</sup>.

Tabela 7: Determinação da massa específica do agregado graúdo

Picnômetro nº	#	1	2
Massa Picnômetro + Brita + Água	(g)	1325,10	1325,50
Massa Picnômetro Cheio de Água	(g)	1201,80	1201,80
Temperatura de Ensaio	(°C)	24	24
Massa Material Seco	(g)	200	200
Massa Específica da Água, T°C de Ensaio	(g/cm <sup>3</sup> )	0,9981	0,9981
Massa Específica	(g/cm <sup>3</sup> )	2,608	2,621
<b>Massa Específica Média</b>	<b>(g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2,614</b>	

Fonte: Autor, 2018.

Assim como para os resultados do agregado miúdo, os valores encontrados para massa específica do agregado graúdo são considerados satisfatórios visto que atendem as exigências contidas em norma.

#### 4.2.3. Determinação da massa unitária

O recipiente utilizado no ensaio de massa unitária possuía um volume de aproximadamente 15 dm<sup>3</sup>, cujas dimensões são de 316 mm x 316 mm x 150 mm (comprimento x largura x altura). Para esse ensaio, foram feitas três determinações para cada agregado, sendo os resultados demonstrados na sequência (tabela 8 e 9).

Tabela 8: Determinação da massa unitária do agregado miúdo

<b>Amostra</b>	<b>Massa (kg)</b>	<b>Volume do recipiente (dm<sup>3</sup>)</b>	<b>Massa unitária (kg/dm<sup>3</sup>)</b>
1	20,05	15,00	1,34
2	20,00		1,33
3	19,95		1,33
<b>Média</b>			<b>1,33</b>

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 9: Determinação da massa unitária do agregado graúdo

<b>Amostra</b>	<b>Massa (kg)</b>	<b>Volume do recipiente (dm<sup>3</sup>)</b>	<b>Massa unitária (kg/dm<sup>3</sup>)</b>
1	22,00	15,00	1,47
2	22,20		1,48
3	22,05		1,47
<b>Média</b>			<b>1,47</b>

Fonte: Autor, 2018.

A norma determina que os resultados de massa unitária obtidos individualmente não devem diferir mais que 1% em relação à média. Sendo assim, os resultados tanto para o agregado miúdo quanto para o graúdo são considerados satisfatórios.

#### 4.4. CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO

##### 4.4.1 Determinação índice de consistência

Por meio do ensaio do índice de consistência do concreto no estado fresco é possível verificar a proximidade do abatimento entre o traço referência e os traços com substituição do cimento Portland pela CBC, a figura 16 ilustra um dos resultados alcançados durante o ensaio.

Figura 16: Ensaio abatimento de tronco de cone



Fonte: Autor, 2018.

Todos os traços quando comparados ao referência mostra que o abatimento não diferiu mais que  $10\pm$  milímetros, conforme tabela 10 a seguir:

Tabela 10: Índice de consistência

<b>Traço com teores de substituição</b>	<b>Abatimento (mm)</b>
Traço referencia 0%	100
Traço substituição 5%	105
Traço substituição 10%	95

Fonte: Autor, 2018

## 4.5. CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

### 4.5.1. Determinação da resistência à compressão

Os corpos de prova moldados foram avaliados quanto a resistência à compressão em virtude dos três traços executados. Além de serem analisados os dois traços com substituição parcial do cimento, foi feita também a análise da resistência à compressão do traço referência, para efeitos de comparação. Diante disso, os resultados são apresentados a seguir de forma individual e comparativa.

#### 4.5.1.1. Traço referência

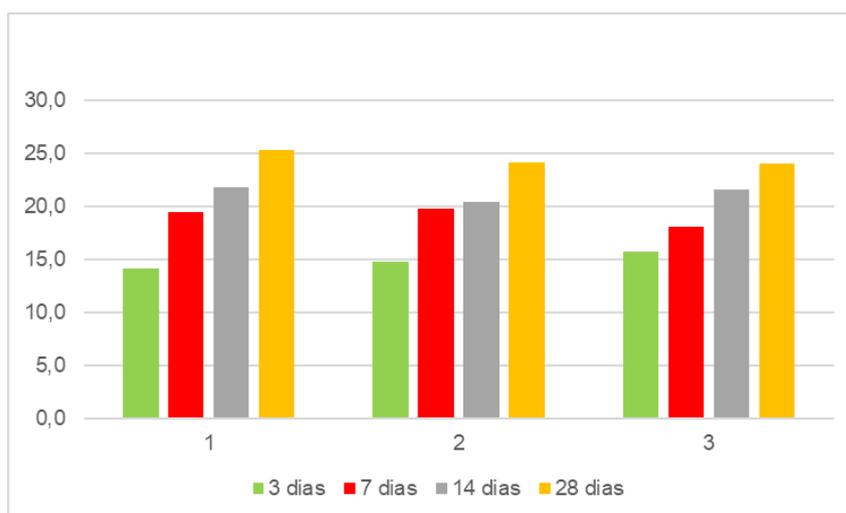
A determinação da resistência à compressão do traço referência foi feita através de rompimento de 3 (três) corpos de prova, para cada idade de rompimento (3, 7, 14 e 28 dias). Totalizando 12 amostras para o traço, cujos resultados para as amostras em questão são expostos a seguir, tabela 11, e os dados detalhados de força de ruptura podem ser observados no APÊNDICE B, C, D e E. É notório que de uma idade para outra a resistência à compressão aumentou e esse aumento pode ser melhor visualizado por meio da figura 17.

Tabela 11: Resistência à compressão do traço referência.

Idade/n° amostra	CP1	CP2	CP3	Média	Desvio Padrão	Variância
<b>3 dias</b>	14,1	14,8	15,8	14,9	0,9	1,46
<b>7 dias</b>	19,5	19,8	18,1	19,1	0,9	1,65
<b>14 dias</b>	21,8	20,4	21,6	21,3	0,8	1,15
<b>28 dias</b>	25,4	24,2	24,1	24,6	0,7	1,05

Fonte: Autor, 2018.

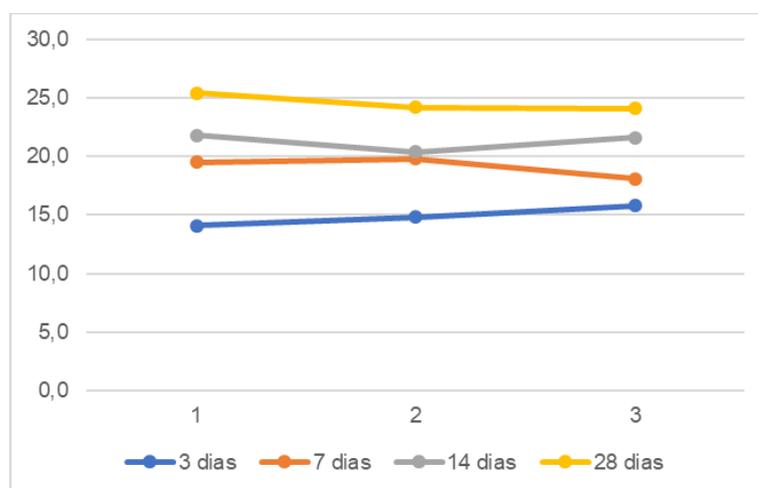
Figura 17: Resistências à compressão do traço referência.



Fonte: Autor, 2018.

A respeito da dispersão (figura 18) entre um corpo de prova e outro percebe-se que na idade de 3 dias e 7 dias houve um desvio padrão de 0,9 MPa, já na idade de 14 dias o desvio foi de 0,8 MPa em relação à média e aos 28 dias foi de 0,7 MPa. Com relação a variância os resultados mostra que a idade de 7 dias foi a que mais variou com 1,65, já a menor variância foi na idade de 28 dias onde a resistência a compressão tende a estabilizar.

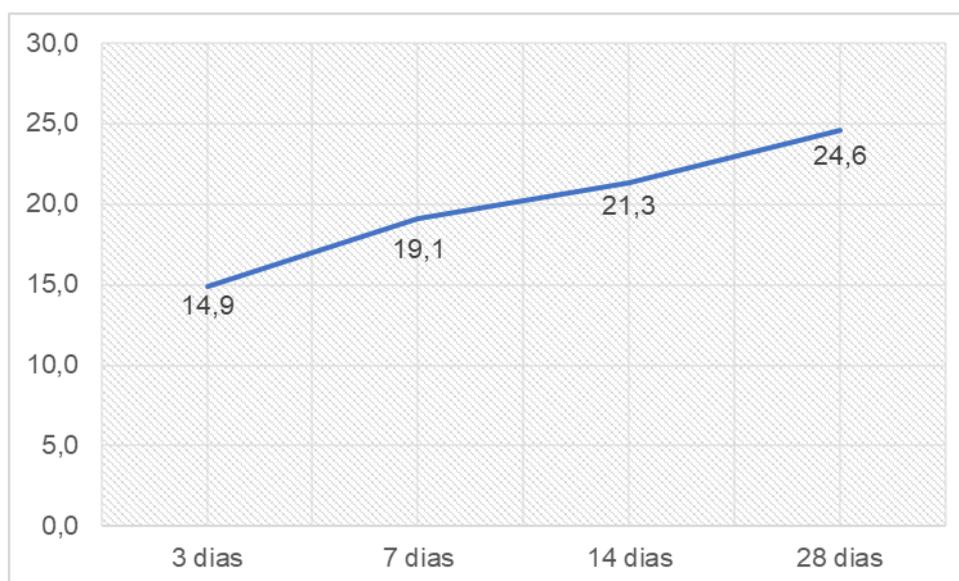
Figura 18: Dispersão das resistências à compressão do traço referência.



Fonte: Autor, 2018.

A média calculada para cada idade pode ser visualizada conforme imagem a seguir (figura 19), cujos resultados são satisfatórios por ter alcançado na idade de 14 dias a resistência determinada no cálculo do traço.

Figura 19: Média das resistências à compressão do traço referência.



Fonte: Autor, 2018.

#### 4.4.1.2. Traço 5%

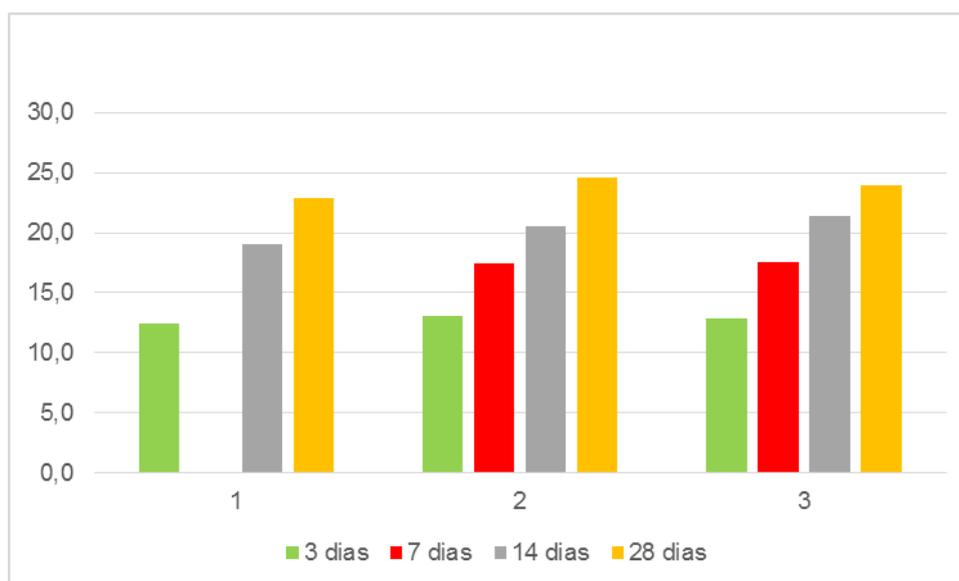
Seguindo o mesmo procedimento do traço referência, mas com a substituição de 5% do cimento por CBC no traço previamente calculado, foram rompidos 12 corpos de prova, no qual os resultados podem ser visualizados a seguir na tabela 12, figura 20 e no APÊNDICE F, G, H e I.

Tabela 12: Resistência à compressão do traço referência.

Idade/n° amostra	CP1	CP2	CP3	Média	Desvio Padrão	Variância
<b>3 dias</b>	12,4	13,1	12,8	12,8	0,4	0,25
<b>7 dias</b>	-	17,4	17,6	17,5	0,1	0,02
<b>14 dias</b>	19,0	20,5	21,4	20,3	1,2	2,94
<b>28 dias</b>	22,9	24,6	23,9	23,8	0,9	1,46

Fonte: Autor, 2018.

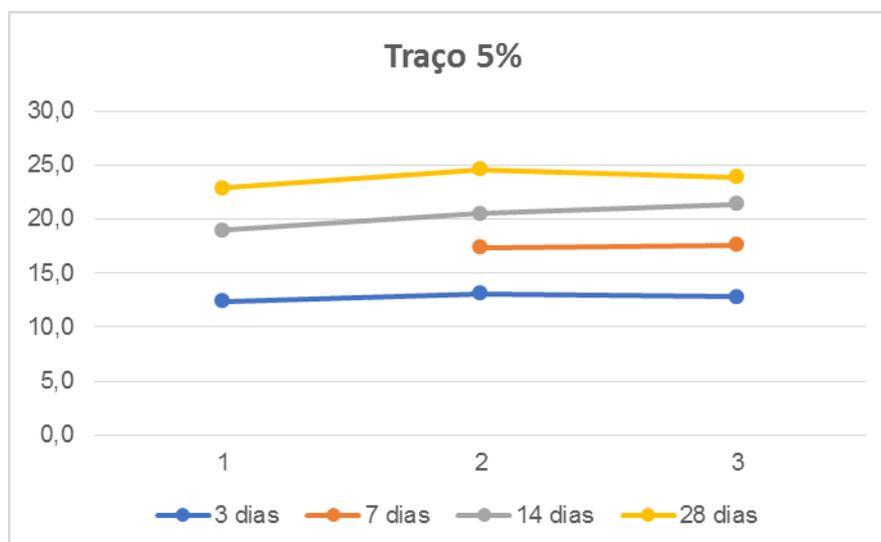
Figura 20: Resistências à compressão do traço 5%



Fonte: Autor, 2018.

Quanto ao desvio padrão da amostra em relação a média, tem-se que foi de 0,1 a 0,9 MPa, sendo que na idade de 7 dias um corpo de prova apresentou resistência com dispersão relativamente considerável em relação aos outros dois corpos de prova, conforme figura a seguir (figura 21), ressalta-se que o valor encontrado foi de 24,5 MPa.

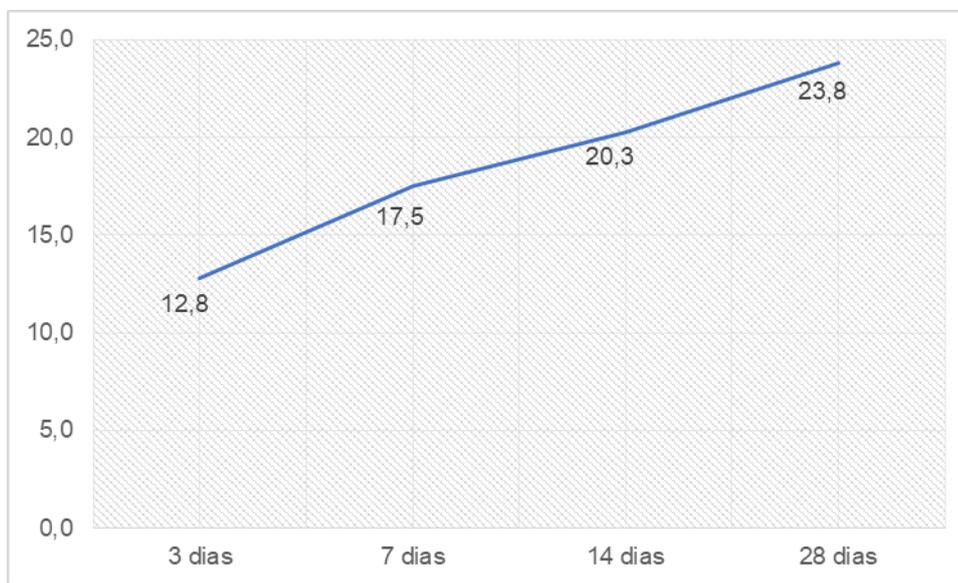
Figura 21: Dispersão das resistências à compressão do traço com substituição de 5%.



Fonte: Autor, 2018.

A figura 22 ilustra as médias das resistências a compressão do traço com substituição de 5%, ficando evidente um ganho considerável nas primeiras idades de 3 a 7 dias e quando se compara com a resistência de 7 a 14 dias a reta tende a ser constante, voltando a ser consideravelmente crescente na idade de 14 para 28 dias.

Figura 22: Média das resistências à compressão do traço 5%



Fonte: Autor, 2018.

#### 4.4.1.3. Traço 10%

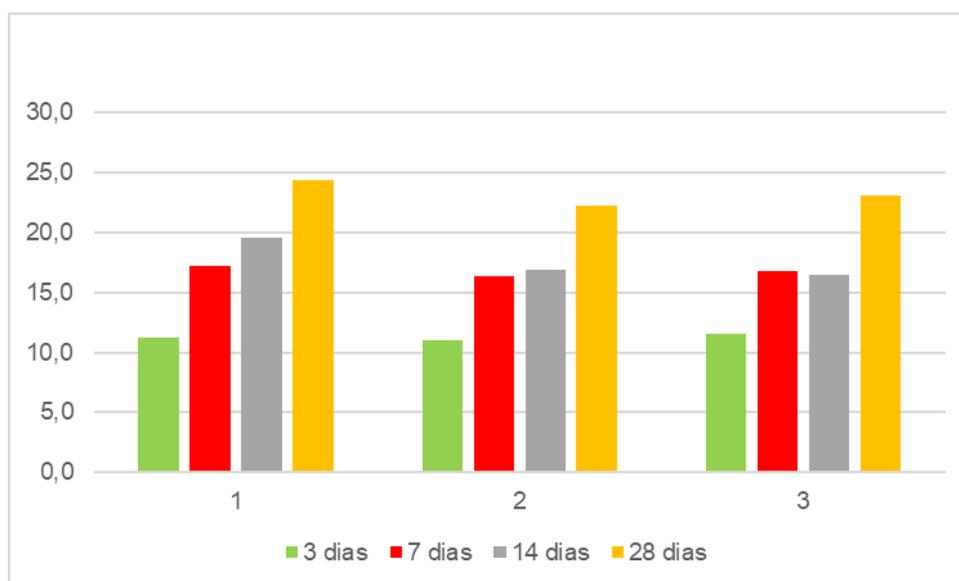
O traço de 10% de substituição do cimento por CBC foi o que apresentou mais alteração em comparação ao traço referência, de tal forma que os resultados demonstram, que com o aumento da substituição houve perda de resistência. Os valores encontrados para tal traço são apresentados a seguir (tabela 13 e figura 23) e no APÊNDICE J, L, Me N.

Tabela 13: Resistência à compressão do traço referência.

Idade/n° amostra	CP1	CP2	CP3	Média	Desvio Padrão	Variância
<b>3 dias</b>	11,2	11,0	11,5	11,2	0,3	0,13
<b>7 dias</b>	17,2	16,3	16,8	16,8	0,5	0,41
<b>14 dias</b>	19,5	16,9	16,5	17,6	1,6	5,31
<b>28 dias</b>	24,4	22,2	23,1	23,2	1,1	2,45

Fonte: Autor, 2018.

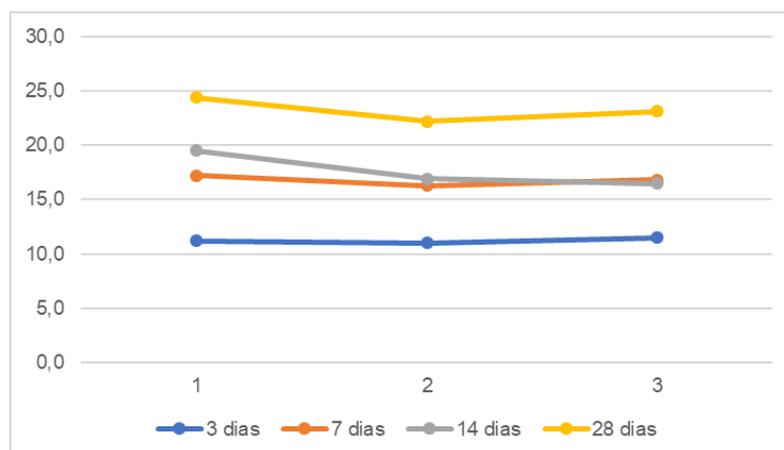
Figura 23 : Resistências à compressão do traço 10%.



Fonte: Autor, 2018.

De acordo com a figura 24 os resultados se mantiveram com desvio padrão semelhantes nas idades de 3 e 7 dias , mas com desvio de 1,6 MPa na idade de 14 dias, visto que o CP1 apresentou uma resistência mais dispersa.

Figura 24: Dispersão das resistências à compressão do traço com substituição de 10%.



Fonte: Autor, 2018.

As médias encontradas podem ser visualizadas na figura 25, e assim como nos outros traços apresentou um crescimento considerável nas primeiras idades, mantendo-se quase constante entre os 7 e 14 dias, voltando a ter ganho de resistência significativo na idade de 14 para 28 dias.

Figura 25 : Média das resistências à compressão do traço 10%



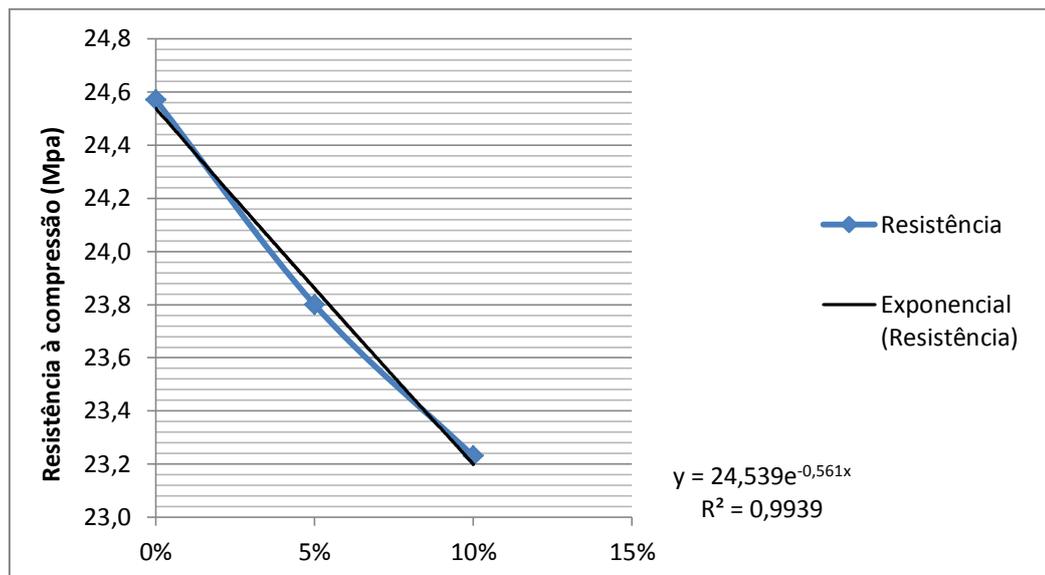
Fonte: Autor, 2018.

#### 4.4.1.4. Análise comparativa

O traço referência apresentou um constante crescimento de resistência à compressão, e quando comparado com os outros dois traços é possível perceber que houve uma pequena perda de resistência. Sendo que para o traço de 10% essa perda foi relativamente maior, permitindo concluir que quanto maior a substituição, menor será a resistência à compressão.

A figura 26 mostra a reta de tendência a resistência compressão do concreto com a substituição parcial do cimento Portland por CBC, cujo equação que melhor a representa é a exponencial .

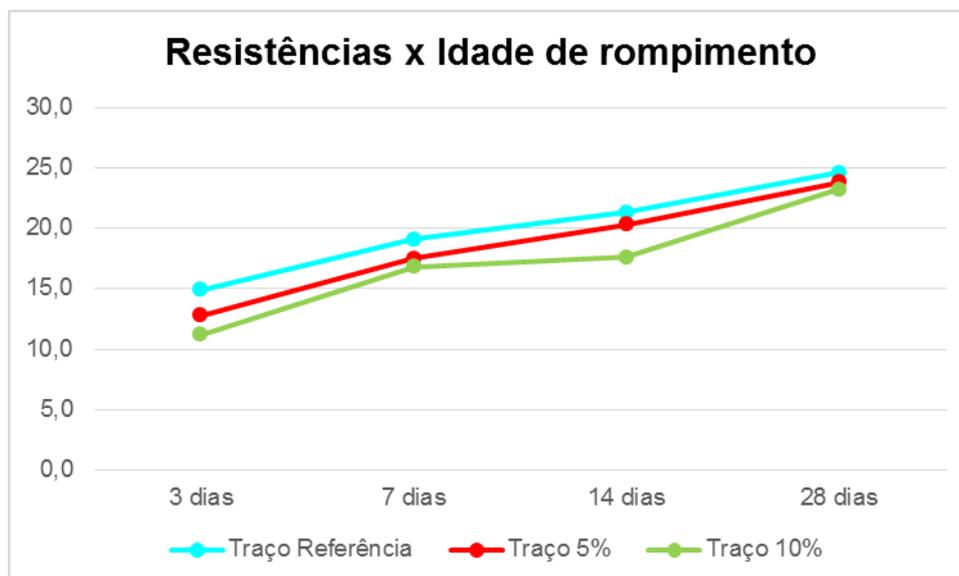
Figura 26: Retas de tendência a resistência a compressão do concreto com substituição do cimento Portland por CBC.



Fonte: Autor, 2018.

Através da figura 27 percebe-se o comportamento das resistências versus a idade de rompimento para cada traço (referência, 5% e 10%). Nele se torna perceptível que o traço referência atendeu aos critérios estabelecidos, e que devido as substituições os outros dois traços perderam resistência, entretanto não alçaram o alcançaram o valor pré-estabelecido durante o cálculo do traço para  $F_{cj}$ , que considerava a resistência a ser alcançada de 26,6 MPa.

Figura 27: Resistências x Idade de Rompimento.



Fonte: Autor, 2018.

As resistências do traço referência manteve-se superior aos outros dois traços em quase todas as idades, com exceção da idade de 7 dias, no qual o traço de 5% foi superior 0,7 MPa. Observa-se que o desempenho das retas para os traços de 5% e 10% se assemelham, com um crescente crescimento, depois obtém-se resistências mais próximas e constantes, e por fim as resistências voltam a aumentar.

#### 4.5. DETERMINAÇÃO ABSORÇÃO E MASSA UNITARIA DO CONCRETO

##### 4.5.1 Determinação da absorção de água por imersão

A determinação de absorção de água no traço referência e nos traços com substituição de CBC foi determinado com base na ABNT NBR 9778 (2009) pela seguinte expressão:

Equação 1 : Absorção de água

$$A = \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \times 100$$

Em que:

A : Absorção

M<sub>sat</sub> : massa saturada

M<sub>s</sub> : massa seca

Os resultados dos ensaios são apresentados em função do teor de substituição e na idade de 28 dias como pode ser visualizado na tabela (tabela 14) abaixo.

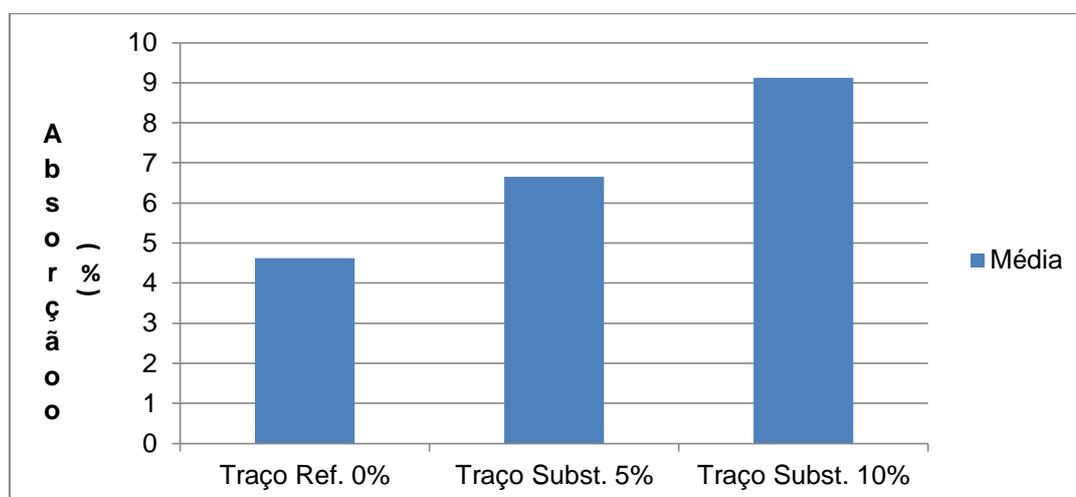
Tabela 14: Absorção por imersão

Traço	CP	Massa seca (kg)	Massa sat.(kg)	Teor Absorção (%)	Médias
Ref. 0%	1	3,4490	3,6103	4,47	4,62
	2	3,4386	3,6073	4,68	
	3	3,4407	3,6103	4,70	
Subst. 5%	1	3,3963	3,6402	6,70	6,65
	2	3,4099	3,6466	6,49	
	3	3,3946	3,6412	6,77	
Subst. 10%	1	3,3593	3,6938	9,05	9,13
	2	3,3504	3,6905	9,22	
	3	3,3608	3,6984	9,13	

Fonte: Autor, 2018.

Os valores encontrados nos ensaios resultaram no gráfico a seguir que permite a comparação das médias para os três traços na idade de 28 dias conforme ilustrado na figura 28.

Figura 28: Média índice de absorção



Fonte: Autor, 2018.

Observa-se que quanto maior o teor de substituição do cimento Portland por CBC o concreto tende a ser mais poroso, visto que quanto maior a quantidade de cinza maior foi a absorção, o que justifica os valores encontrados.

#### 4.5.2 Determinação densidade do concreto

A densidade do concreto foi determinada de acordo com peso do concreto seco para o volume de um (1) molde de 10x20 centímetros conforme a tabela 15 abaixo.

Tabela 15: Determinação da densidade do concreto

Traço	Massa do concreto (Kg)	Volume (M <sup>3</sup> )	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )
Traço Ref.	3,4428	0,0016	2151,75
Traço Sub. 5%	3,4003	0,0016	2125,19
Traço Sub. 10%	3,3568	0,0016	2098,00

Fonte: Autor, 2018.

A tabela acima mostra a média das massas dos corpos de prova com massa seca, cuja densidade do concreto no traço de 10% de substituição indica a ser mais leve em comparado ao traço referência e ao teor de substituição de 5%, o que mostra que quanto maior o teor substituição por cinza mais leve será o peso específico do concreto.

## 5.0 CONCLUSÃO

Em concordância com o que foi exposto e através da caracterização dos materiais, dos procedimentos de confecção dos corpos de prova, das resistências a compressão, torna-se possível concluir que os resultados encontrados inicialmente na caracterização do agregado e da cinza foram satisfatórios, visto que atenderam as exigências e critérios de normas específicas.

Quanto a consistência do concreto no estado fresco conclui-se que a cinza influenciou minimamente no abatimento do concreto, visto que os valores encontrados nos três diferentes traços não diferiram excessivamente entre si.

No que diz respeito a resistência a compressão o concreto composto por cinza em substituição ao cimento apresentou resistências aceitáveis, ainda que tenha havido uma perda da mesma em relação ao traço padrão. Os resultados mostram que quanto maior a substituição de cimento Portland por cinza do bagaço de cana-de-açúcar a resistência tende a cair em comparação ao traço referência, mas os resultados ainda podem ser considerados satisfatórios. Além disso, através dos resultados expostos anteriormente é possível ponderar que o CBC moído no moinho de bolas, conforme Cordeiro (2006) já havia concluído.

Os resultados de absorção mostram que quanto maior o teor de substituição do cimento pela CBC, o concreto tende a ser mais poroso, visto que a cinza é um material mais fino, tal fato justifica os resultados obtidos.

Assim como a densidade do concreto no estado endurecido que indica quanto maior quantidade de cinza substituída pelo cimento Portland, menor será seu peso específico.

## 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Nos últimos anos surgiu a necessidade de reutilizar os resíduos que são constantemente produzidos pela sociedade. Em virtude disso é de suma importância realizar mais estudos acerca do tema proposto neste trabalho, para contribuir com a reutilização da cinza dando um fim adequado ao resíduo e conseqüentemente minimizar o impacto causado pela grande geração de cimento. A seguir algumas sugestões:

- Um maior teor de substituição para que possa a concluir o máximo de substituição de CBC por cimento Portland.
- Controle de queima em laboratório para uma comparação com CBC industrial
- O uso do CBC como substituição no cimento para concreto auto adensável.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, R. O., TACHIZAWA, T., & CARVALHO, A. B. 2004. **Gestão ambiental: enfoque estratégico aplicado ao desenvolvimento sustentável** (2ª ed.). São Paulo: Makron.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 23**: Cimento Portland e outros materiais em pó – determinação de massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7251**: Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro: ABNT, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6508**: Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT: 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67**: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5732**: Cimento – Cimento Portland comum. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

BARBOSA, Gisele Silva. **O desafio do desenvolvimento sustentável**. Revista Visões: 4º Edição, Rio de Janeiro, 2008.

BARBOZA FILHO, M. P.; PRABHU, A. S. **Aplicação de silicato de cálcio na cultura do arroz**. In: Circular Técnica 51 EMBRAPA, Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA, 4 p, 2002.

BRASIL. Companhia Nacional de Abastecimento. Conab. **Safra de cana 2016/17 será recorde**. 2016. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/imprensa-noticia.php?id=40179>>. Acesso em: 11 ago. 2017.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Balço nacional de cana -de-açúcar e agroenergia / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Secretaria de Produção e Agroenergia – Brasília: MAPA/SPA, 2007. 139 p.

BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de Construção 1. 5ª Edição Revisada** [Reimpr] - Rio de Janeiro: Ltc, 2015. 488 p..

BOCCHI, M. L. M., 2012, **Aplicação do bagaço da cana-de-açúcar aplicada na atualidade**. Boletim Técnico, FATEC, Jaboticabal, SP, Brasil. CAIXA Econômica Federal, 2006. Cadernos Caixa: Projeto padrão Casas Populares. Vitória, ES, Brasil.

CARMO, J. B. M.; PORTELLA, K. F.; VALDUGA, L. **Análise comparativa de concretos compostos com sílica ativa e metacaulim**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 49, 2007, Bento Gonçalves. Anais... São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2007.

CAVALCANTI, Clóvis. (org.). **Desenvolvimento e Natureza: estudos para uma sociedade sustentável**. São Paulo: Cortez, 2003.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra Brasileira: cana-de-açúcar-Safra 2017/2018**. Disponível em <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253/>>. Acesso em 05 de outubro de 2017.

CORDEIRO, Guilherme Chagas. **Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concreto**. 2006. 485 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

CORDEIRO, Guilherme Chagas; TOLEDO FILHO, Guilherme Chagas Cordeiro Romildo Dias; FAIRBAIRN, Eduardo de Moraes Rego. **Influência da substituição parcial de cimento por cinza ultrafina da casca de arroz com elevado teor de carbono nas propriedades do concreto**. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, 2009.

CORRÊA, Lásaro Roberto. **Sustentabilidade na construção civil**. 70 f. Monografia – Curso de Especialização em Construção Civil, Escola de Engenharia UFMG, Belo Horizonte - MG, 2009.

CLARO, P. B. O.; CLARO, D. P.; AMÂNCIO, R. **Entendendo o conceito de sustentabilidade nas organizações**. Revista de Administração, v. 43, n. 4, art. 1, p. 289-300, 2008.

CRISTINA, Eliane; SIMÕES, Alinne; GARCEZ, Naná. **Construção verde**. Revista Edificar, 2011. Disponível em: [www.revistaedificar.com.br](http://www.revistaedificar.com.br). Acesso em: 03 de outubro de 2017.

Diretoria de Política Agrícola e Informações Superintendência de Informações do Agronegócio (Org.). **A Geração Termoelétrica com a Queima do Bagaço de Cana-de-Açúcar no Brasil: Análise do Desempenho da Safra 2009-2010.2011**. Disponível em: [http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/agroenergia/arquivos-FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO/CENTRO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - FIESP/CIESP. Ampliação da oferta de energia através da biomassa \(bagaço da cana-de-açúcar\)](http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/agroenergia/arquivos-FEDERAÇÃO%20DAS%20INDÚSTRIAS%20DO%20ESTADO%20DE%20SÃO%20PAULO/CENTRO%20DAS%20INDÚSTRIAS%20DO%20ESTADO%20DE%20SÃO%20PAULO%20-%20FIESP/CIESP.%20Ampliação%20da%20oferta%20de%20energia%20através%20da%20biomassa%20(bagaço%20da%20cana-de-açúcar).). São Paulo: FIESP/CIESP, 2001.90p.

FERNANDES, Sérgio Eduardo. **Concreto com adição de cinza de bagaço de cana-de-açúcar**. 2014. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2014.

FIOMARI, M. C. **Análise energética e exergética de uma usina sucro-alcooleira do oeste paulista com sistema de cogeração de energia em expansão**. 2004. 130f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2004.

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M., 1994, **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**, 1 ed. São Paulo: Editora Pini, 616 p.

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M., 2008, **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**, 1 ed. São Paulo: Editora Pini, 616 p.

MOLIN FILHO, *et al.* **CINZA DO BAGAÇO DE CANA-DEAÇÚCAR COMO AGREGADO EM CONCRETOS E ARGAMASSAS**. 2014. 31 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá, 2014.

NEVILLE, Adam M.. **PROPRIEDADES DO CONCRETO**. 5. ed. São Paulo: 2016. 868 p.

NEVILLE, A. M., 1997, **Propriedades do concreto**, 2 ed. São Paulo: Editora Pini, 828 p.

NUNES et al. (2008). **ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DA CINZA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR PARA USO NA CONSTRUÇÃO**. 2008. 10 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia urbana, Universidade Estadual de Maringá-UEM.

PAULA, Marcos Oliveira de. **POTENCIAL DA CINZA DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR COMO MATERIAL DE SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE CIMENTO PORTLAND**. 2006. 77 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006

REZENDE, Mariana Felicetti. **USO DE CINZA DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR EM CIMENTO PORTLAND COMO MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO**. 2016. 120 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Ouro, Ouro Preto, 2016.

SILVEIRA, Daniel Antônio. **INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND PELA CINZA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR (CBC) RESIDUAL NO CONCRETO**. 2010. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

SESSA, Thiago da Cruz. **AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DA CINZA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR EM CONCRETO USANDO CONSTRUÇÕES RESIDENCIAIS DE MENOR IMPACTO**. 2013. 89 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. Piracicaba: T. C. C. Ripoli, 2004. 302p.

TAVARES, Paulo Cezar Coelho. **O BAGAÇO DE CANA COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA**. 2009. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/convidados/1926441892036406485/o-bagaco-de-cana-como-alternativa-energetica/>>. Acesso em: 01 ago. 2017.

TOMAIN, Lorena Resende; FREITAS, Matheus Resende; MEDEIROS, Renata Franco; ALMEIDA, José Roberto. **Viabilidade da utilização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar na produção de concreto**. Artigo apresentado na 8º EnTec – Encontro de Tecnologia da UNIUBE – Universidade de Uberaba: 2014.

TOMMASELLI, M. A. G.; LIMA, A. V. Tsuji, E. R.; CHUBA, C. A. M.; ALVES, A. L.. Alternativa de utilização sustentável do resíduo cinza, oriunda da queima do bagaço da cana-de-açúcar, incorporando-a ao concreto como agregado. In: **XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP)**, 2011, Belo Horizonte. Anais. XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), 2011. p. 1-8.

VEIGA, J. E. **Desenvolvimento sustentável: alternativas e impasses.** In: KEINERT, T. M. M. (Org). *Organizações sustentáveis: utopias e inovações.* São Paulo: Annablume; Belo Horizonte: Fapemig, 2007.

## APÊNDICE

APÊNDICE A – Dosagem do concreto em volume. .

Traço	Cimento (Lts)	Cinza (Lts)	Agregado miúdo (Lts)	Agregado graúdo (Lts)	Água (Lts)
<b>Traço Referencia</b>	10	0	15,6	21,7	6
<b>Traço Subst. 5%</b>	9,5	0,5	15,6	21,7	6
<b>Traço Subst. 10%</b>	9	1,0	15,6	21,7	6

APÊNDICE B – Resultados à compressão do traço referência na idade de 3 dias.

CP	FORÇA RUPTURA (Kgf)	TENSÃO DE RUPTURA (MPa)
1	11275	14,1
2	11893	14,8
3	12359	15,4
<b>Média</b>		<b>14,79</b>
<b>Desvio Padrão</b>		<b>0,7</b>

APÊNDICE C – Resultados à compressão do traço referência na idade de 7 dias.

CP	FORÇA RUPTURA (Kgf)	TENSÃO DE RUPTURA (MPa)
1	15633	19,5
2	15871	19,8
3	14484	18,1
<b>Média</b>		<b>19,14</b>
<b>Desvio Padrão</b>		<b>0,9</b>

APÊNDICE D – Resultados à compressão do traço referência na idade de 14 dias.

CP	FORÇA RUPTURA (Kgf)	TENSÃO DE RUPTURA (MPa)
1	17454	21,8
2	16327	20,4
3	17335	21,6
<b>Média</b>		<b>21,3</b>
<b>Desvio Padrão</b>		<b>0,8</b>

APÊNDICE E – Resultados à compressão do traço referência na idade de 28 dias.

CP	FORÇA RUPTURA (Kgf)	TENSÃO DE RUPTURA (MPa)
1	20305	25,4
2	19416	24,2
3	19275	24,1
<b>Média</b>		<b>24,55</b>
<b>Desvio Padrão</b>		<b>0,7</b>

APÊNDICE F – Resultados à compressão do traço subst. 5% na idade de 3 dias.

CP	FORÇA RUPTURA (Kgf)	TENSÃO DE RUPTURA (MPa)
1	9963	12,4
2	10527	13,1
3	10284	12,8
<b>Média</b>		<b>12,8</b>
<b>Desvio Padrão</b>		<b>0,4</b>

APÊNDICE G – Resultados à compressão do traço subst. 5% na idade de 7 dias.

CP	FORÇA RUPTURA (Kgf)	TENSÃO DE RUPTURA (MPa)
1	19612	24,5
2	13920	17,4
3	14202	17,6
<b>Média</b>		<b>19,8</b>
<b>Desvio Padrão</b>		<b>4,0</b>

APÊNDICE H – Resultados à compressão do traço subst. 5% na idade de 14 dias.

CP	FORÇA RUPTURA (Kgf)	TENSÃO DE RUPTURA (MPa)
1	15178	19,0
2	16403	20,5
3	17172	21,4
<b>Média</b>		<b>20,29</b>
<b>Desvio Padrão</b>		<b>1,3</b>

APÊNDICE I – Resultados à compressão do traço subst. 5% na idade de 28 dias.

CP	FORÇA RUPTURA (Kgf)	TENSÃO DE RUPTURA (MPa)
1	18311	22,9
2	19720	24,6
3	19156	23,9
<b>Média</b>		<b>23,80</b>
<b>Desvio Padrão</b>		<b>0,89</b>

APÊNDICE J– Resultados à compressão do traço subst. 10% na idade de 3 dias.

CP	FORÇA RUPTURA (Kgf)	TENSÃO DE RUPTURA (MPa)
1	8944	11,2
2	8781	11,0
3	9188	11,5
<b>Média</b>		<b>11,2</b>
<b>Desvio Padrão</b>		<b>0,3</b>

APÊNDICE L– Resultados à compressão do traço subst. 10% na idade de 7 dias.

CP	FORÇA RUPTURA (Kgf)	TENSÃO DE RUPTURA (MPa)
1	13812	17,2
2	13074	16,3
3	13475	16,8
<b>Média</b>		<b>16,8</b>
<b>Desvio Padrão</b>		<b>0,3</b>

APÊNDICE M – Resultados à compressão do traço subst. 10% na idade de 14 dias.

CP	FORÇA RUPTURA (Kgf)	TENSÃO DE RUPTURA (MPa)
1	15579	19,5
2	13519	16,9
3	13194	16,5
<b>Média</b>		<b>17,60</b>
<b>Desvio Padrão</b>		<b>1,6</b>

APÊNDICE N – Resultados à compressão do traço subst. 10% na idade de 28 dias.

<b>CP</b>	<b>FORÇA RUPTURA (Kgf)</b>	<b>TENSÃO DE RUPTURA (MPa)</b>
1	19568	24,4
2	17790	22,2
3	18484	23,1
<b>Média</b>		<b>23,24</b>
<b>Desvio Padrão</b>		<b>1,1</b>