

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

VICTOR MEDEIROS BORGES

**ESTUDO DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE CAREPA DE AÇO**

CAMPO MOURÃO

2017

VICTOR MEDEIROS BORGES

## **ESTUDO DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE CAREPA DE AÇO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado à Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior em Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, para obtenção do título de bacharel em engenharia civil.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Fabiana Goia Rosa de Oliveira

Co-orientador: Tecnólogo Fábio Rodrigo Kruger

CAMPO MOURÃO

2017



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Câmpus Campo Mourão  
Diretoria de Graduação e Educação Profissional  
Departamento Acadêmico de Construção Civil  
Coordenação de Engenharia Civil



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso

**ESTUDO DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE CAREPA DE AÇO**

por

**Victor Medeiros Borges**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 16h do dia 27 de Novembro de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

**Prof. Dr. Jorge Luis Nunes de Góes**

(UTFPR)

**Prof. Paulo Henrique Rodrigues**

(UTFPR)

**Tecnólogo Fábio Rodrigo Kruger**

(UTFPR)

**Co-orientador**

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Fabiana Goia Rosa de Oliveira**

(UTFPR)

**Orientador**

Responsável pelo TCC: **Prof. Me. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia Civil:

**Prof. Dr. Ronaldo Rigobello**

*A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.*

## AGRADECIMENTOS

À Deus, aquele em quem confio e amo, pela certeza do seu amor, misericórdia e graça que alcançam e sustentam minha vida com tamanha intensidade que permite-me tornar e permanecer forte, alegre e em paz todos os dias.

Aos meus fortes, essenciais e amados pais, Ivan e Tânia, que foram o incentivo e também base para meu desenvolvimento, que me deram amor, carinho, ensinamentos, educação e princípios; seguraram minhas mãos e acompanharam cada passo da minha jornada, sou totalmente grato aos seus cuidados.

Agradeço à professora Dr.<sup>a</sup> Fabiana Goia Rosa de Oliveira, minha orientadora, pelo acompanhamento, orientação, apoio e conhecimento compartilhado no desenvolvimento deste trabalho com tamanha dedicação e competência.

Ao Fábio Rodrigo Kruger, meu coorientador e técnico do Laboratório de Materiais, pela orientação durante os processos práticos desenvolvidos neste trabalho.

Ao técnico do Laboratório de Estruturas, Maiko, por seu auxílio em ensaios realizados para o presente trabalho.

À Metalúrgica Tuzzi, por disponibilizar o material carepa de aço e tornar este trabalho possível.

Àqueles que me proporcionaram conhecimento e experiências e foram de extrema importância para meu desenvolvimento acadêmico e profissional, os professores da UTFPR, em especial aos pertencentes à Coordenação de Engenharia Civil.

Aos técnicos auxiliares e administrativos que preservam e contribuem para o andamento e crescimento da minha querida instituição de ensino Universidade Tecnológico Federal do Paraná.

À Karina, Heloísa, Luciana, Thayná e Fábio por me proporcionarem amizade e o aconchego de um lar mesmo longe de nossas famílias.

A todos aqueles que acompanharam minha caminhada acadêmica, apoiaram, ajudaram e tornaram cada momento único, em especial, Fernando, Eduarda, Túlio, Stephanie e Julia.

## Resumo

BORGES, Victor Medeiros. **ESTUDO DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE CAREPA DE AÇO**. 2017. 52f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil). Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Campo Mourão. Campo Mourão, 2017.

O presente trabalho tem como foco principal o emprego de um resíduo sólido formado na fabricação do aço, denominado carepa de aço, na substituição com porcentagens de 10%, 20% e 40% da areia como agregado miúdo no concreto com traço convencional de 1:2:3. Utilizou-se cimento Portland CP II –Z e uma relação água/cimento de 0,65. Para o estudo das características do concreto foram realizados ensaios de absorção de água, granulometria do agregado miúdo e da carepa de aço, resistência à compressão e tração e também o módulo de elasticidade do concreto produzido. Os resultados obtidos apresentaram alta variabilidade para determinar-se um traço ideal, entretanto, o concreto produzido com adição de 10% de carepa de aço mostrou-se mais próximo ao concreto de referência.

**Palavras-chave:** Concreto, Resíduo Sólido, Carepa de Aço, Agregado.

## Abstract

BORGES, Victor Medeiros. **CONCRETE'S STUDY WITH ADDITION OF MILL SCALE**. 2017. 52f. Final Paper (Bachelor of Civil Engineering). Federal Technological University of Paraná – Campo Mourão Campus. Campo Mourão, 2017.

The main objective of this work is to study the use of a solid waste formed on steel surface during steel manufacture, called mill scale, to replace 10%, 20% and 40% sand percentages as a small aggregate in the concrete with mix proportioning 1:2:3. This used Portland cement CP II-Z and a water/cement ratio of 0.65. For the study of the concrete's characteristics, water absorption tests were carried out, and the aggregate's granulometry was verified by manual grinding of the mill scale, compressive and tensile strength, as well as the modulus of elasticity of the concrete produced. The results obtained presented great variations and inaccuracies to determine a mix proportioning with precision, however, the concrete produced with addition of 10% of mill scale showed more agreement to the reference concrete.

**Palavras – Chave:** Concrete, Solid waste, Mill Scale, Aggregate.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Carepa de aço .....	20
Figura 2 – Separação da granulometria ideal da carepa .....	23
Figura 3 – Pedacos de metais separados .....	24
Figura 5 – Moldagem dos copos de prova.....	29
Figura 6 – Corpos de prova encapados e ordenados.....	31
Figura 7 – Ensaio de compressão do corpo de prova .....	31
Figura 8 – Fissuras causadas pelo rompimento à compressão.....	32
Figura 9 – Ensaio do Módulo de elasticidade .....	33
Figura 10 – Ensaio de tração do concreto .....	34
Figura 11 – Secagem dos corpos de prova .....	35
Figura 12 – Corpos de prova submersos em água.....	35
Figura 13 – Slump test.....	36
Figura 14 – Concreto 40% carepa, à esquerda, e concreto 0%, a direita.....	42

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição Química da Carepa .....	21
Tabela 2 - Quantidade de agregado miúdo retida em cada peneira .....	25
Tabela 3 – Massa específica da Carepa .....	26
Tabela 4 - Quantidade de agregado miúdo retida em cada peneira .....	26
Tabela 5 – Massa específica da Areia .....	27
Tabela 6 - quantidade de agregado graúdo retida em cada peneira .....	28
Tabela 7 – Massa específica e Absorção da Brita II .....	28
Tabela 8 – Composição do concreto .....	30
Tabela 9 – Massa dos corpos de prova .....	37
Tabela 10 – Massa dos corpos de prova imergidos .....	39
Tabela 11 – Massa Específica do Concreto .....	39
Tabela 12 – Resultados Slump Test .....	40
Tabela 13 – Módulo de elasticidade .....	41
Tabela 14 – Resultado do ensaio de compressão .....	43
Tabela 15 – Resultado do ensaio de tração .....	44
Tabela 16 – Coeficiente de variação .....	45



## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Acréscimo na massa após absorção .....	38
Gráfico 2 – Variação da Massa específica dos corpos de prova .....	39
Gráfico 3 – Módulo de Elasticidade .....	41
Gráfico 4 – Resistência dos corpos de prova à compressão .....	45
Gráfico 5 – Resistência dos corpos de prova à tração .....	46

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação do agregado.....	25
---	----

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	13
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	14
<b>2.1</b>	<b>Objetivos Gerais</b>	14
<b>2.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	14
<b>3</b>	<b>JUSTIFICATIVA</b>	15
<b>5</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	16
<b>5.1</b>	<b>Concreto</b>	16
5.1.1	Componentes Do Concreto	16
5.1.1.1	Cimento	16
5.1.1.2	Agregado Miúdo	17
5.1.1.3	Agregado Graúdo	17
5.1.1.4	Água	17
5.1.2	Dosagem Do Concreto	18
5.1.3	Aditivos	18
5.1.4	Durabilidade	19
5.1.5	Módulo De Elasticidade	19
5.1.6	Tempo De Pega Do Concreto	19
<b>5.2</b>	<b>Carepa De Aço</b>	19
<b>5.3</b>	<b>Adição Da Carepa De Aço No Concreto</b>	21
<b>6</b>	<b>METODOLOGIA</b>	23
<b>6.1</b>	<b>Dosagem</b>	23
<b>6.2</b>	<b>Componentes Do Concreto</b>	23
6.2.1	Cimento Portland	23
6.2.2	Carepa	23
<b>6.2.3</b>	<b>Areia</b>	26
<b>6.2.4</b>	<b>Brita</b>	27

<b>6.3</b>	<b>Preparação Do Concreto</b>	<b>28</b>
<b>6.4</b>	<b>Resistência E Módulo De Elasticidade</b>	<b>30</b>
<b>6.5</b>	<b>Resistência À Tração</b>	<b>33</b>
<b>6.6</b>	<b>Absorção De Água Pelo Concreto Por Imersão</b>	<b>34</b>
<b>6.7</b>	<b>Slump Test</b>	<b>36</b>
<b>7</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>37</b>
<b>7.1</b>	<b>Absorção De Água</b>	<b>37</b>
<b>7.2</b>	<b>Massa Específica Do Concreto</b>	<b>38</b>
<b>7.3</b>	<b>Slump Test</b>	<b>40</b>
<b>7.4</b>	<b>Granulometria Da Carepa</b>	<b>40</b>
<b>7.5</b>	<b>Módulo De Elasticidade</b>	<b>41</b>
<b>7.6</b>	<b>Resistência À Compressão E Tração</b>	<b>42</b>
<b>8</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>47</b>
<b>9</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>48</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Por englobar tantos ramos do mercado financeiro e ser um dos setores de maior influência, e por isso, indicador, do andamento da economia de um país e também provocar movimento nos assuntos sociais e ambientais, por exemplo, a indústria da construção civil deve ser sempre assunto de estudos e pesquisas que visam a melhoria, desenvolvimento e descoberta de ferramentas, novos meios e materiais para serem empregados nela.

Atualmente, um dos maiores consumidores de recursos naturais e também poluidores do meio ambiente é o ramo da construção. Com sua alta utilização de matéria prima natural, como a água, e grande poluição, principalmente da atmosfera pela produção de cimento Portland, faz-se necessária a procura por novas técnicas ou substituição de materiais aplicados nessa área.

Com o aumento da produção industrial e, conseqüentemente, dos subprodutos e resíduos causados por ela, os setores siderúrgicos e metalúrgicos necessitam, cada vez mais, de lugares ambientalmente seguros para depositá-los ou ferramentas e técnicas que os torne reutilizáveis ou aplicáveis na produção de outros materiais. Um destes resíduos é denominado carepa de aço e é gerada no processo de laminação de peças fabricadas com o material aço carbono.

A carepa de aço, na laminação, surge pelo contato do aço quente retirado do forno, à temperaturas que chegam a cerca de 1500° graus Celsius, com o oxigênio do ar que reage com o ferro produzindo um composto de oxido de ferro. A separação deste material é de fácil manuseio e, após isso, a carepa é armazenada em pátios e sua destinação precisa seguir normas ambientais, já que é classificado como resíduo classe I pela norma NBR 10004 (2004).

Mediante isto, o seguinte trabalho tem como intuito estudar a viabilidade do emprego da carepa de aço, como substituto parcial da areia, na função de agregado miúdo na produção de concreto de cimento Portland, analisando-se suas características de qualidade e resistência final.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivos Gerais**

Estudar a aplicação do resíduo carepa de aço no concreto como agregado miúdo em substituição da areia e verificar suas propriedades para diferentes dosagens.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Estudar as características da carepa de aço;
- Pesquisar sobre a aplicação da carepa de aço na fabricação de concreto;
- Definir o traço de referência do concreto e também os traços com adição de carepa;
- Realizar ensaios para determinação da absorção de água, massa específica do concreto, trabalhabilidade através do Slump Test, granulometria do resíduo de laminação, módulo de elasticidade e resistência à compressão e tração em corpos de prova de concreto com e sem adição do resíduo de laminação;
- Comparar os resultados obtidos e definir o traço mais indicado para uso na construção civil.

### 3 JUSTIFICATIVA

O concreto é um dos materiais mais utilizados e bem aceitos nos canteiros de obras, seja pelas suas características físicas, que facilitam a construção, ou pelo baixo custo dos materiais e mão de obra, entretanto, o grande uso e o aumento do consumo do concreto pode extinguir algumas matérias primas, além de outros agravantes para questões ambientais, e por isso é de fundamental importância o emprego de novas formas de produzir este material.

Outro assunto que é de extrema urgência é encontrar aplicação ou forma de reuso de resíduos de indústrias siderúrgicas e metalúrgicas como a carepa de aço, por exemplo. Este material é depositado em pátios e ocupam grandes espaços que precisam ser gerenciados e cuidados, mas sua falta de aplicabilidade e dificuldade no descarte agrava cada vez mais a questão ambiental.

A solução encontrada para resolver as duas questões levantadas é o emprego da carepa de aço na produção de concreto onde o material substituiria parcialmente a areia como agregado miúdo, evitando a extração de areia do meio ambiente e utilizando um resíduo sem destinação final.

A grande vantagem de aplicar a carepa de aço no concreto é o fato de que este material possui fácil acesso, por ser encontrado em qualquer indústria de aço, e preço baixo, pelo fato de ser um incômodo para as siderúrgicas e metalúrgicas estocar e descartar este material.

## 5 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 5.1 Concreto

Segundo Mehta e Monteiro (1994) o concreto é considerado como um dos materiais mais utilizados, em termos de volume, no campo da construção civil. Sua importância dentro do setor se dá ao fato da grande resistência do material, baixo custo, disponibilidade global e fácil manuseio.

Em termos técnicos o concreto de cimento Portland é definido pela NBR 12655 (ABNT, 2006) como um material formado pela mistura do cimento, da água e agregados miúdo e graúdo podendo possuir ou não em sua composição aditivos que agregam diferentes características ao material.

Para alcançar uma boa qualidade do material é preciso uma prévia seleção dos componentes, determinação do traço, determinar a resistência solicitada, assim como o cuidado com adensamento, hidratação e cura. (PETRUCCI, 1998)

#### 5.1.1 Componentes Do Concreto

##### 5.1.1.1 Cimento

O cimento Portland é de origem mineral e apresenta, como característica visual, ser um pó fino e de coloração acinzentada. Sua função é ligar os agregados miúdos e graúdos e garantir resistência ao concreto.

É definido com um aglomerante hidráulico que, constituído por silicatos e aluminatos de cálcio, ao entrarem em contato com a água hidrata-se e faz com que a massa comece a endurecer, oferecendo então uma determinada resistência mecânica. A composição principal do material é dada por calcário e argila que, misturados e moídos, formam um produto denominado clínquer, o qual tem como composição final: cal (CaO), sílica (SiO<sub>2</sub>), alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), óxido de ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), magnésia (MgO), álcalis (Na<sub>2</sub>O e K<sub>2</sub>O) e sulfatos (SO<sub>3</sub>) (PETRUCCI, 1998).



#### 5.1.1.2 Agregado Miúdo

Segundo a NBR 7211 (ABNT, 2009) o agregado miúdo é todo aquele fragmento o qual passa pela peneira com abertura de malha de 4,8 mm e ficam retidos na peneira ABNT 0,075 mm.

A areia é caracterizada como um agregado miúdo, sendo ela de origem natural, causada por abrasão ou intemperismo, as quais são encontradas em leitos de rios, minas e várzeas; já o pedrisco, que também é considerado agregado miúdo, é um produto artificial formado por rochas estáveis que passam pelo processo de britagem. Suas características, como composição química, dureza, estrutura de poros e massa específica, depende diretamente da rocha mãe das quais foram extraídas. (PETRUCCI, 1998; NEVILLE, 2013)

#### 5.1.1.3 Agregado Graúdo

A NBR 7211 (ABNT, 2009) diz que todo fragmento que passa pela peneira com abertura de malha nominal de 152 mm e fica retido na peneira ABNT 4,8 mm são definidos como agregado graúdo.

Pedregulho natural, seixo rolado, cascalho, pedra britada, argila expandida e escória podem ser usados como agregado graúdo.

O concreto tem como maioria de seu volume os agregados e, por isso, é importante conhecer e selecionar o material que irá ser empregado em sua composição para garantir maior resistência, durabilidade e desempenho estrutural.

#### 5.1.1.4 Água

A água é o agente que inicia a reação de formação do concreto, unindo os agregados através do aglomerante hidráulico, que é o cimento.

Para Neville (2013), a qualidade da água é importante para o resultado final do concreto, pois, algumas impurezas podem prejudicar na resistência final, na pega do cimento ou corroer armaduras. Porém ressalta que não é de extrema importância a utilização de água potável, basta que seu sabor não esteja salobro ou salino e seu

pH (grau de acidez) se apresente entre 6,0 e 8,0 porque outros fatores, como odor e coloração, não indicam necessariamente substâncias prejudiciais.

### 5.1.2 Dosagem Do Concreto

Petrucci (1998) define o termo traço como a dosagem do concreto o qual tem o cimento como unidade de medida e representa a proporção de cada componente dentro do concreto nas dimensões de volume ou peso, sua configuração é realizada da seguinte forma: 1:M:G onde, M representa a proporção de agregado miúdo e G a de agregado graúdo. São definidos conforme a resistência e característica desejada para o concreto, conforme sua destinação.

A dosagem da água é administrada somente para mudar a trabalhabilidade do concreto dependendo da granulometria dos agregados empregados, mas não depende do traço adotado (PETRUCCI, 1998). A umidade dos agregados pode influenciar na quantidade de água que será introduzida na mistura, e por isso, é de extrema importância o ensaio de inchamento do agregado miúdo.

### 5.1.3 Aditivos

São produtos químicos adicionados intencionalmente com a finalidade de reforçar ou melhorar algumas características do concreto, não podendo ultrapassar 5% da massa do cimento. Sua grande vantagem são melhorias econômicas e físicas. (NEVILLE, 1997)

Petrucci (1997) destaca que o aditivo nunca tem a função de corrigir falhas, sejam elas de dosagens ou mal aplicação do concreto e cita algumas características que podem ser alcançadas, como: aumento de compacidade; melhora da trabalhabilidade; e aumento na durabilidade.

A NBR 11768 (ABNT,1992) classifica os aditivos em: plastificantes; retardador; plastificante retardador; plastificante acelerador; incorporador de ar; superplastificante; superplastificante retardador; e superplastificante acelerador.

#### 5.1.4 Durabilidade

O comportamento do concreto sob ação de agentes agressivos é um assunto muito importante pois, é partir destes que se permite estudar formas de tornar o material mais resistente à ação física, química ou mecânica. Os agentes que possuem maior prejuízos ao concreto é: fluidos agressivos como: água carbonatadas, águas sulfatadas e água salinizada; temperatura e ação do fogo.

Para Petrucci (1998), a melhor forma de defesa do concreto é a compacidade, ou seja, a continuidade da peça, por isso a fissuração é dada como a porta de entrada à agressão.

#### 5.1.5 Módulo De Elasticidade

Esse módulo pode ser considerado como sendo uma rigidez, ou uma resistência do material à deformação elástica. Quanto maior for esse módulo, mais rígido será o material ou menor será a deformação elástica que resultará da aplicação de uma dada tensão (CALLISTER, 2002).

Callister (2002) ressalta que o módulo de elasticidade corresponde à inclinação do segmento linear resultante do gráfico da tensão (ordenada) em função da deformação específica (abscissa) enquanto essas são proporcionais, ou seja, obedecem a lei de Hooke.

#### 5.1.6 Tempo De Pega Do Concreto

A pega do concreto é iniciada quando a mistura fresca começa a solidificar-se. Os pontos de começo e término de pega são descobertos através do ensaio que determina quando a pasta de cimento inicia o processo de solidificação. (MEHTA; MONTEIRO, 1994)

### **5.2 Carepa De Aço**

Para Cunha et al. (2006) a carepa de aço é um resíduo sólido metálico produzido pela oxidação do material aço carbono, em siderúrgicas e metalúrgicas, no

processo de lingotamento e laminação, possui coloração preta e é de fácil separação da peça usinada.

O metal a alta temperatura reage com o oxigênio formando um óxido de ferro com baixa aderência. A carepa deve ser removida para evitar inclusões que diminuem a qualidade do aço durante sua conformação mecânica por laminação ou outro processo de deformação plástica (PEREIRA et al., 2008). Na Figura 1 apresenta-se a carepa já moída.

**Figura 1 – Carepa de aço**



Fonte: Do autor

Segundo Gonçalves et al. (2004) a composição química da carepa é formada por basicamente óxido de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) com 91,45% de seu peso, além disso, possui  **$\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Si}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{CaCO}_2$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{TiO}_2$** . Na Tabela 1 apresenta-se a quantidade de cada componente.

**Tabela 1 – Composição Química da Carepa**

Óxidos	(% em peso)
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	91,45
$\text{Al}_2\text{O}_3$	0,09
$\text{SiO}_2$	0,60
$\text{P}_2\text{O}_5$	0,03
$\text{CaCO}_2$	0,07
$\text{MnO}$	0,81
$\text{Na}_2\text{O}$	0,05
$\text{TiO}_2$	0,01

Fonte: ICTR (2004)

Segundo a Metalúrgica Gerdau (2008), a cada tonelada de aço produzido, 266 kg de coprodutos e resíduos são gerados. Desses, 75% são reciclados e o restante é destinado a Centrais de Armazenamento de Resíduos (CARS), entre este, a carepa de aço.

Oliveira (2004) relata em seu trabalho que a produção de 1 tonelada de aço produz cerca de 10 kg do resíduo carepa.

Algumas empresas já utilizam desse produto para gerar lucros, um exemplo disso é a aplicação da carepa em “pavers”, blocos de concreto utilizados para pavimentação de calçadas, estacionamentos e ambientes externos. Estas aplicações ajudam as empresas a destinar seu resíduo de maneira correta e gerar renda com um coproduto que previamente não possuía função. (GOERGEN, 2006)

### 5.3 Adição Da Carepa De Aço No Concreto

O crescimento das indústrias siderúrgicas e metalúrgicas e, por consequência, o aumento de resíduos industriais tem provocado um grande problema no quesito socioambiental, trazendo desconforto principalmente nas áreas urbanas (KIPPER, 2005).

Segundo a Rede WWF (2008) em seu relatório Planeta Vivo, a capacidade do planeta em gerar e regenerar recursos naturais pode apresentar-se completamente destruída já nas primeiras décadas de 2030, já que, segundo as estatísticas, a demanda pelos recursos superará o dobro do que a Terra pode disponibilizar.

Para Ely (1986) citado por Almeida (2009), deve-se ter a consciência de utilizar dos recursos naturais de forma econômica para que não seja atingido o patamar onde sejam totalmente consumidos por consequência da falta de

preservação e conservação, as quais podem ser auxiliadas com a reciclagem de materiais não renováveis, por exemplo.

O setor da construção civil é umas das maiores consumidoras de recursos naturais e apresenta-se como um grande escape para utilização de subprodutos e resíduos produzidos por outros setores, como por exemplo, as siderúrgicas (JOHN, 2000).

Com os dados atuais de gestão ambiental, o emprego da carepa de aço dentro da indústria da construção civil pode gerar resultados positivos, pois traz o conceito de “resíduo zero” para o setor de siderurgia e reduz o consumo de recursos naturais. Por isso, o uso da carepa de aço na produção de concreto mostra-se algo que deve ser estudado (PEREIRA et al., 2008).

## 6 METODOLOGIA

### 6.1 Dosagem

Para obter informações sobre como o emprego da carepa de aço interfere nas características do concreto, o traço 1:2:3 em volume e a proporção água/cimento de 0,65 foram estabelecidos por serem os mais usuais mediante busca em pesquisas.

As percentagens de carepa de aço para substituição da areia como agregado miúdo adotados foram de 0%, 10%, 20% e 40%.

### 6.2 Componentes Do Concreto

#### 6.2.1 Cimento Portland

O cimento escolhido para a produção do concreto foi o CP II-Z.

#### 6.2.2 Carepa

O resíduo foi disponibilizado pela Metalúrgica Tuzzi, localizada no município de São Joaquim da Barra, SP, a qual realiza processo de laminação na produção de peças destinadas a maquinários agrícolas.

**Figura 2 – Separação da granulometria ideal da carepa**



Fonte: Autoria própria (2017)

Após o recebimento do material, o mesmo passou por um processo de moagem manual até que fosse atingida uma granulometria visivelmente adequada, ou seja, visivelmente mais próxima da granulometria da areia, para a substituição do agregado miúdo, na Figura 2 demonstra-se a variação granulométrica obtida.

**Figura 3 – Pedacos de metais separados**



Fonte: Autoria própria (2017)

Neste processo, foram identificados pedaços de metais, mostrados na Figura 3, que não poderiam ser moídos e utilizados na produção do concreto, caracterizando a amostra como não pura. Para avaliação da granulometria foram utilizadas uma seleção de peneiras de aberturas 4,8 mm, 2,36 mm e 1,18 mm.

**Figura 4 – Agitador automático e série de peneiras**



Fonte: Autoria própria (2017)



Posteriormente, seguiu-se o ensaio para agregado miúdo da norma NBR 7217:1987 – Determinação da composição granulométrica, foi separada uma amostra de 999,54g da carepa colocando-a em uma série de peneiras que foi fixada em um agitador automático por aproximadamente 8 minutos como mostrado na Figura 4.

Em seguida, o material retido em cada peneira foi pesado para determinação do módulo de finura do agregado, na Tabela 2 apresenta-se os valores obtidos.

**Tabela 2 - Quantidade de agregado miúdo retida em cada peneira**

PENEIRA	PESO RETIDO (g)	% RETIDA	% RETIDA ACUMULADA
4,8mm	1,45	0,14	0,14
2,4mm	285,70	28,59	28,73
1,2mm	313,35	31,35	60,08
0,6mm	177,13	17,72	77,80
0,3mm	114,55	11,46	89,26
0,15mm	58,21	5,83	95,09
FUNDO	49,15	4,91	-
TOTAL	999,54	100	-

Fonte: Autoria própria (2017)

**Quadro 1 – Classificação do agregado**

Agregado	Agregado
Muito Grosso	$MF \geq 3,90$
Grosso	$3,30 \leq MF < 3,90$
Médio	$2,40 \leq MF < 3,30$
Fino	$MF < 2,40$

Fonte: NBR 7217:1982

Analisando os resultados da Tabela 2 e comparando ao Quadro 1, conclui-se que a dimensão máxima característica (D.M.C.) foi de 4,8 e o módulo de finura (M.F.) foi de 3,51. Portanto, o agregado miúdo foi classificado como grosso.

Os ensaios para determinação da massa específica real e aparente também foram estabelecidos segundo a norma NBR NM 52:2002 – Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente e NBR NM 45:2006 – Agregados determinação da massa unitária e número de vazios, respectivamente.

**Tabela 3 – Massa específica da Carepa**

MASSA ESPECÍFICA	
Real	5,18 kg/dm <sup>3</sup>
Aparente	2,53 kg/dm <sup>3</sup>

Fonte: Aatoria própria (2017)

A relação entre a massa específica real e a aparente da carepa conforme a Tabela 3 é de 2,04, o que indica a grande porosidade e absorção de água pelo material, considerando que a densidade cai pela metade quando na presença do líquido.

### 6.2.3 Areia

O material empregado na produção do concreto foi adquirido no comércio de Campo Mourão, PR.

O ensaio de determinação da composição granulométrica de agregados teve o intuito de determinar a percentagem que cada faixa de tamanho de partículas representa dentro da massa total aplicada no ensaio. O ensaio foi realizado segundo a NBR 7217:1987 – Determinação da composição granulométrica.

Selecionou-se uma amostra de 1000g do agregado miúdo seco, o qual foi inserido em uma série normal de peneiras e fixado em um agitador automático por cerca de 8 minutos. Em seguida, o material foi separado e pesado para então determina-se o módulo de finura. Na Tabela 4 explicita-se os valores obtidos.

**Tabela 4 - Quantidade de agregado miúdo retida em cada peneira**

PENEIRA	PESO RETIDO (g)	% RETIDA	% RETIDA ACUMULADA
4,75mm	2,41	0,24	0,24
2,36mm	8,43	0,84	1,08
1,18mm	39,51	3,95	5,03
0,60mm	96,90	9,69	14,72
0,30mm	709,04	70,90	85,62
0,15mm	128,47	12,85	98,47
FUNDO	15,24	1,52	-
TOTAL	1000	100	-

Fonte: Aatoria própria (2017)

Com os resultados da tabela 4 comparados aos valores do Quadro 1, conclui-se que a dimensão máxima característica (D.M.C) foi de 4,75 e Módulo de finura (M.F) foi de 2,05. Portanto, o agregado miúdo foi caracterizado como fino.

Seguindo a NBR NM 52:2002 – Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente e ABNT NM 45:2006 – Agregados determinação da massa unitária e número de vazios, respectivamente, os ensaios também foram estabelecidos para a areia e seus resultados estão representados na Tabela 5.

**Tabela 5 – Massa específica da Areia**

MASSA ESPECÍFICA	
Real	2,60 kg/dm <sup>3</sup>
Aparente	1,60 kg/dm <sup>3</sup>

**Fonte: Autoria própria (2017)**

A relação entre a massa específica real e a aparente da areia demonstrada na Tabela 5 é de aproximadamente 1,63, o que demonstra porosidade e absorção de água menor em relação à carepa. Destaca-se também que a densidade da carepa atinge, aproximadamente, o dobro da areia.

#### **6.2.4 Brita**

A brita, do tipo II, utilizada foi disponibilizada pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR, campus Campo Mourão, PR.

A determinação da composição granulométrica do agregado graúdo foi realizado segundo a NBR 7217:1987 com o intuito de determinar a percentagem que cada faixa de tamanho de partículas representa dentro da massa total aplicada no ensaio.

**Tabela 6 - quantidade de agregado graúdo retida em cada peneira**

PENEIRA	PESO RETIDO (g)	% RETIDA	% RETIDA ACUMULADA
25,0mm	0	0	0
19,0mm	20,45	2,05	2,05
12,5mm	523,21	52,32	54,37
9,5mm	249,65	24,97	79,34
5,6mm	181,49	18,15	97,49
4,75mm	7,71	0,77	98,26
FUNDO	17,49	1,75	-
TOTAL	1000	100	-

Fonte: Autoria própria (2017)

Analisando os resultados da tabela 6 e comparando ao Quadro 1, conclui-se que a dimensão máxima característica (D.M.C.) foi de 19,0 e o módulo de finura (M.F.) foi de 4,29. Portanto, o agregado miúdo foi classificado como muito grosso.

Seguindo a NBR 9937:1987 – Determinação da absorção e da massa específica absoluta dos agregados graúdos, também foram determinados a massa específica real, massa específica aparente e índice de absorção da Brita II utilizada no concreto. N Tabela 7 são expressados os resultados obtidos.

**Tabela 7 – Massa específica e Absorção da Brita II**

MASSA ESPECÍFICA	
Real	2,952 kg/dm <sup>3</sup>
Aparente	2,916 kg/dm <sup>3</sup>
ABSORÇÃO	
	1,20%

Fonte: Autoria própria (2017)

### 6.3 Preparação Do Concreto

Foram moldados 32 corpos de prova com traços de concretos em porcentagens de carepa diferentes, 0%, 10%, 20% e 40%, conforme a Figura 5.

**Figura 5 – Moldagem dos copos de prova**



**Fonte: Aatoria própria (2017)**

A quantidade de cada componente foi calculada conforme a dosagem e para o agregado miúdo cada percentagem obteve-se um cálculo para determinar a quantidade de carepa e areia que deveriam ser empregados na fabricação do concreto, estas quantidades podem ser encontradas na Tabela 8.

**Tabela 8 – Composição do concreto**

CONCRETO 0% CAREPA	
Água	6 L
Areia	23,672 kg
Brita II	42,795 kg
Carepa	0 Kg
Cimento	10,370 kg
CONCRETO 10% CAREPA	
Água	6 L
Areia	21,300 kg
Brita II	42,795 kg
Carepa	4,301 kg
Cimento	10,370 kg
CONCRETO 20% CAREPA	
Água	6 L
Areia	18,936 kg
Brita II	42,795 kg
Carepa	8,550 kg
Cimento	10,370 kg
CONCRETO 40% CAREPA	
Água	6 L
Areia	14,207 kg
Brita II	42,795 kg
Carepa	17,110 kg
Cimento	10,370 kg

Fonte: Autoria própria (2017)

#### 6.4 Resistência E Módulo De Elasticidade

A resistência à compressão dos corpos de prova de concreto foi determinada seguindo-se os procedimentos da NBR 5739:2007 - Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.

Foram moldados quatro corpos de prova para cada traço utilizado, totalizando 16 unidades, da forma descrita no item 6.3 deste trabalho.

**Figura 6 – Corpos de prova encapados e ordenados**



Fonte: Aatoria própria (2017)

Os corpos de prova foram então encapados com uma camada de papel filme, de forma a garantir que nenhum fragmento fosse lançado no momento do rompimento, e em seguida separados por composição, como pode ser visto na Figura 6.

**Figura 7 – Ensaio de compressão do corpo de prova**



Fonte: Aatoria própria (2017)

Após encapar os corpos de prova, estes foram ajustados entre os pratos da prensa de maneira que ficaram centralizados e fixados (Figura 7), para então começar o processo da aplicação de carga de compressão que foi executado até seu rompimento, que pode ser visto nas fissuras apresentadas no corpo de prova na Figura 8.

**Figura 8 – Fissuras causadas pelo rompimento à compressão**



**Fonte: Autoria própria (2017)**

O ensaio do módulo de elasticidade também foi executado segundo a NBR 8522:2008 – Determinação do módulo de estático de elasticidade à compressão, foram utilizados um corpo de prova de cada traço e medidores de deformação elétrico, que podem ser vistos na Figura 9.



**Figura 9 – Ensaio do Módulo de elasticidade**



Fonte: Aatoria própria (2017)

### **6.5 Resistência À Tração**

A resistência à compressão dos corpos de prova de concreto foi determinada seguindo-se os procedimentos da NBR 7222:1994 – Argamassa e Concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Foram moldados quatro corpos de prova para cada traço utilizado, totalizando 16 unidades, da forma descrita no item 6.3 deste trabalho.

Os corpos de prova foram fixados entre duas barras metálicas retilíneas de forma que ficaram em repouso, em seguida colocados entre os pratos da prensa, representado na Figura 10. Em seguida, foi aplicada a carga de compressão diametral de forma constante até que o rompimento do corpo de prova.

**Figura 10 – Ensaio de tração do concreto**



Fonte: Autoria própria (2017)

### **6.6 Absorção De Água Pelo Concreto Por Imersão**

Para este ensaio foram utilizados 4 corpos de prova para cada dosagem, os procedimentos do ensaio seguiram a NBR 9778:1987 Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão.

A execução do ensaio iniciou-se pela secagem das amostra em estufa, representados na Figura 11, à temperatura de cerca de 105°C onde permaneceu por 72 horas.

**Figura 11 – Secagem dos corpos de prova**



Fonte: Autoria própria (2017)

Após a pesagem e registro da massa, os corpos de prova foram imersos em água à temperatura de cerca de 23°C, também por 72 horas.

**Figura 12 – Corpos de prova submersos em água**



Fonte: Autoria própria (2017)

Após a imersão, Figura 12, foram registradas as massas no período de 24, 48 e 72 horas.

### 6.7 Slump Test

Este ensaio tem o objetivo de determinar o abatimento do concreto e verificar sua trabalhabilidade e foi realizado conforme a NBR NM 67:1998: concreto – determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.

Todas as quatro dosagens de concreto foram ensaiadas da mesma forma e passaram pelo seguinte procedimento: umedecer o molde e a placa de base, posicionar as peças conforme a norma de forma fixa e segura para enche-la com três camadas intercaladas por 25 golpes com o objetivo de compactar o material. Na Figura 13 demonstra-se o momento dos golpes no tronco de cone.

**Figura 13 – Slump test**



Fonte: Autoria própria (2017)

Após completamente cheio, os moldes foram retirados cuidadosamente na direção vertical e então mediu-se o abatimento do concreto, que foi comparando à altura do molde.

## 7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 7.1 Absorção De Água

A partir do ensaio de absorção de água, obteve-se os seguintes resultados apresentados na Tabela 9.

**Tabela 9 – Massa dos corpos de prova**

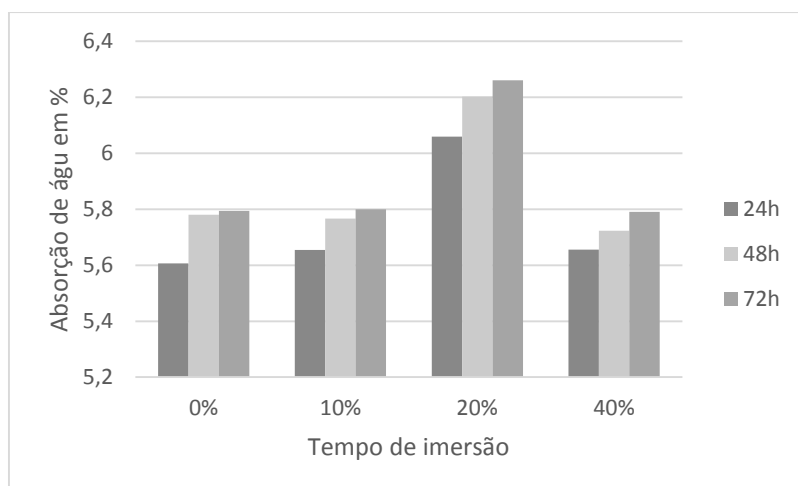
SECO				
CORPO DE PROVA	PORCENTAGEM (%)			
	0	10	20	40
1	3,770 kg	3,849 kg	3,789 kg	4,134 kg
2	3,708 kg	3,775 kg	3,848 kg	4,055 kg
3	3,775 kg	3,758 kg	3,820 kg	4,100 kg
4	3,676 kg	3,809 kg	3,908 kg	4,065 kg
24h IMERSO				
CORPO DE PROVA	PORCENTAGEM (%)			
	0	10	20	40
1	3,965 kg	4,056 kg	4,026 kg	4,362 kg
2	3,925 kg	3,994 kg	4,083 kg	4,294 kg
3	3,977 kg	3,979 kg	4,053 kg	4,321 kg
4	3,899 kg	4,021 kg	4,134 kg	4,302 kg
48h IMERSO				
CORPO DE PROVA	PORCENTAGEM (%)			
	0	10	20	40
1	3,973 kg	4,060 kg	4,031 kg	4,366 kg
2	3,931 kg	3,984 kg	4,088 kg	4,296 kg
3	3,983 kg	3,997 kg	4,059 kg	4,324 kg
4	3,905 kg	4,026 kg	4,140 kg	4,304 kg
72h IMERSO				
CORPO DE PROVA	PORCENTAGEM (%)			
	0	10	20	40
1	3,973 kg	4,061 kg	4,033 kg	4,369 kg
2	3,931 kg	3,998 kg	4,091 kg	4,299 kg
3	3,984 kg	3,985 kg	4,061 kg	4,326 kg
4	3,906 kg	4,028 kg	4,142 kg	4,307 kg

Fonte: Autoria própria (2017)

Como observado no Gráfico 1, a massa dos corpos apresentou aumento durante a exposição à água, porém, os corpos de prova com o emprego de 20%

carepa de aço apresentou grande absorção inicial, se comparado ao concreto referência, e manteve esse aumento, de aproximadamente 0,2% ao dia, como todos as dosagens adotadas. Os corpos de prova com dosagem 10% e 40% permaneceram com taxa de aumento de massa próximo ao concreto referência.

**Gráfico 1 – Acréscimo na massa após absorção**



Fonte: Autoria própria (2017)

Segundo as pesquisas realizadas por Pereira (2008), a absorção de água obedeceu o mesmo padrão deste trabalho, com aumento linear conforme o tempo de exposição ao líquido.

## 7.2 Massa Específica Do Concreto

A massa específica do concreto foi determinada segundo a norma NBR 9937:1987 e utilizou-se dos dados colhidos em seu estado seco e submerso por 24h, apresentados na Tabela 9 no item 7.1 deste trabalho, e também dos corpos de prova imergidos em água apresentados na Tabela 10.

**Tabela 10 – Massa dos corpos de prova imergidos**

CORPO DE PROVA	IMERGIDO			
	PORCENTAGEM DE CAREPA			
	0%	10%	20%	40%
CP 1	2,410	2,502	2,497	2,782
CP 2	2,377	2,457	2,531	2,743
CP 3	2,423	2,436	2,518	2,761
CP 4	2,354	2,476	2,571	2,750

Fonte: Autoria própria (2017)

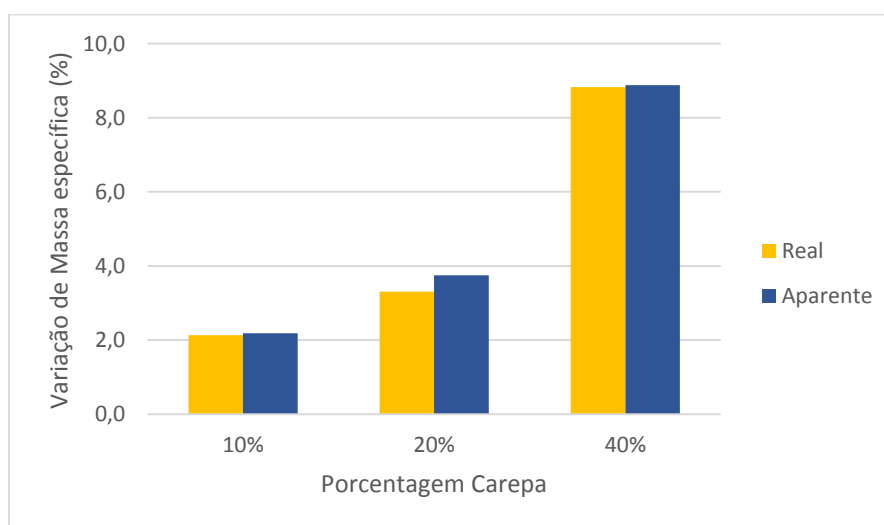
Com estes dados, calculou-se a massa específica do concreto para cada dosagem. (Tabela 12)

**Tabela 11 – Massa Específica do Concreto**

MASSA ESPECÍFICA	PORCENTAGEM DE CAREPA			
	0%	10%	20%	40%
REAL	2,407	2,458	2,487	2,620
APARENTE	2,542	2,598	2,637	2,768

Fonte: Autoria própria (2017)

Apresentada na Tabela 10, estão as massas específicas real e aparente do concreto sem adição de carepa e com 10%, 20% e 40%, respectivamente, em substituição em volume de areia; no Gráfico 2, a comparação entre os dados apresentados.

**Gráfico 2 – Variação da Massa específica dos corpos de prova**

Fonte: Autoria própria (2017)

Mediante aos dados obtidos, notou-se que a variação da massa entre o concreto referência (0%) e as dosagens adotadas de 10%, 20% e 40%, apresentaram aumento conforme o acréscimo de carepa de aço. O concreto com dosagem de 40% carepa de aço possui, aproximadamente, um acréscimo de 9% em sua massa específica, tornando-o um concreto de alta densidade.

### 7.3 Slump Test

No ensaio do Slump Test, observou-se que o abatimento do concreto começou a diminuir conforme o aumento significativo de carepa em sua composição, este fato deu-se pelo motivo do material apresentar maior absorção de água.

**Tabela 12 – Resultados Slump Test**

PORCENTAGEM (%)	ABATIMENTO (mm)
0	175
10	185
20	170
40	165

Fonte: Aatoria própria (2017)

Quanto maior o abatimento, menor a consistência e maior a trabalhabilidade. Como o traço definido na dosagem do concreto é muito utilizado em obras convencionais, a trabalhabilidade adequada é aquela que permite o molde de vigas, pilares e lajes, e é caracterizada com o abatimento por volta de 150 mm, o que torna os resultados, apresentados na Tabela 11, adequados.

Observou-se também que, devido à grande quantidade de carepa de aço no traço 40%, a consistência do concreto aumentou, o que demonstra a influência na trabalhabilidade causada pela aderência do agregado à pasta de concreto.

### 7.4 Granulometria Da Carepa

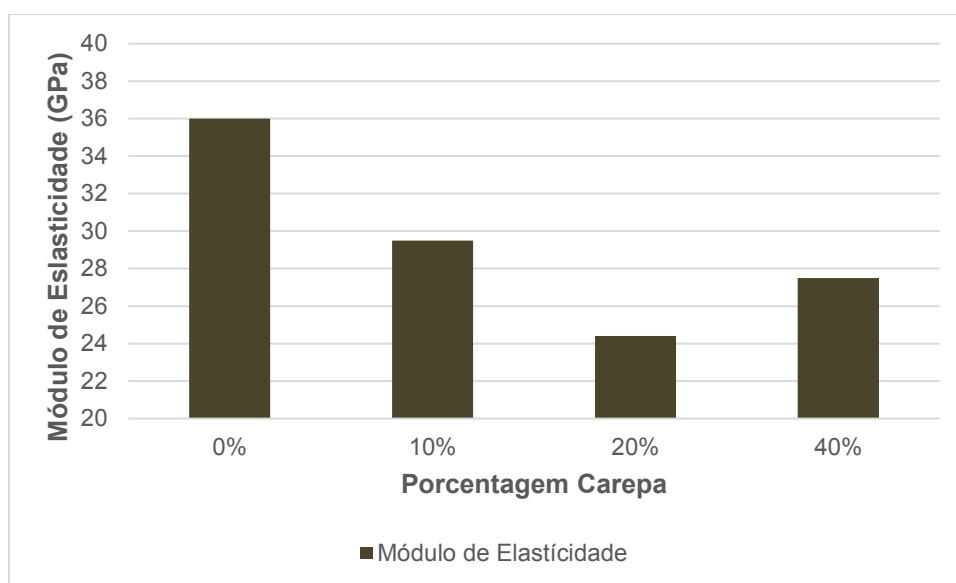
Segundo os dados do item 6.2.2, a granulometria da carepa, classificada como agregado grosso, não foi adequada para substituição da areia, visto que, esta foi classificada como agregado fino. O processo de moagem não atingiu o resultado esperado devido à dificuldade encontrada no processo manual e sem padronização.



## 7.5 Módulo De Elasticidade

No Gráfico 3 estão representados os resultados obtidos por meio da compressão em um corpo de prova para cada traço, neles notou-se que, nos corpos de prova de 10% e 20% o módulo diminuiu, já na composição de 40%, voltou a aumentar.

**Gráfico 3 – Módulo de Elasticidade**



Fonte: Autoria própria (2017)

Os resultados obtidos mostram que o concreto com adição de carepa possui uma baixa resistência a deformações, este fator deve-se principalmente à baixa aderência do material ao concreto devido à presença de óleos e graxas no resíduo de aço.

**Tabela 13 – Módulo de elasticidade**

PORCENTAGEM CAREPA	MÓDULO DE ELASTICIDADE
0%	36,0
10%	29,5
20%	24,4
40%	27,5

Fonte: Autoria própria (2017)

O aumento, observado no traço 40%, pode ser atribuído à quantidade elevada de carepa de aço com granulometria maior que a da areia.

**Figura 14 – Concreto 40% carepa, à esquerda, e concreto 0%, a direita**



Fonte: Autoria própria (2017)

Na figura 14, foi possível perceber a maior composição de carepa de aço no concreto 40% em relação ao concreto referência e, também, a granulometria do agregado que é, visivelmente, maior se comparado à areia.

## **7.6 Resistência À Compressão E Tração**

No ensaio de compressão, devido ao uso de cimento Portland II Z 32, os valores esperados deveriam apresentar-se por volta de 32 MPa, porém, mesmo os corpos de prova moldados com o concreto referência, ou seja, sem adição de carepa, apresentaram valores de resistência menores, Tabela 13.

**Tabela 14 – Resultado do ensaio de compressão**

CONCRETO 0% CAREPA		
CORPO DE PROVA	FORÇA MÁXIMA	RESISTÊNCIA EFETIVA
CP 1	228,49	29,00
CP 2	155,99	19,92
CP 3	187,17	23,74
CP 4	190,50	25,60
CONCRETO 10% CAREPA		
CORPO DE PROVA	FORÇA MÁXIMA	RESISTÊNCIA EFETIVA
CP 1	150,39	18,92
CP 2	171,15	21,73
CP 3	144,72	18,46
CP 4	155,40	21,35
CONCRETO 20% CAREPA		
CORPO DE PROVA	FORÇA MÁXIMA	RESISTÊNCIA EFETIVA
CP 1	119,84	15,20
CP 2	155,35	19,70
CP 3	156,06	17,71
CP 4	143,80	18,03
CONCRETO 40% CAREPA		
CORPO DE PROVA	FORÇA MÁXIMA	RESISTÊNCIA EFETIVA
CP 1	150,67	19,28
CP 2	137,63	17,65
CP 3	165,77	21,04
CP 4	151,40	20,90

Fonte: Autoria própria (2017)

Comparando-se os valores obtidos entre os corpos de prova, notou-se a grande variação entre os valores obtidos, que foram diminuindo, conforme a adição do agregado experimental observados também no ensaio de tração, Tabela 14.

**Tabela 15 – Resultado do ensaio de tração**

CONCRETO 0% CAREPA		
CORPO DE PROVA	FORÇA MÁXIMA	RESISTÊNCIA EFETIVA
CP 1	67,00	2,14
CP 2	61,90	1,99
CP 3	51,20	1,64
CP 4	50,20	1,61
CONCRETO 10% CAREPA		
CORPO DE PROVA	FORÇA MÁXIMA	RESISTÊNCIA EFETIVA
CP 1	49,70	1,59
CP 2	51,90	1,68
CP 3	43,60	1,40
CP 4	57,20	1,83
CONCRETO 20% CAREPA		
CORPO DE PROVA	FORÇA MÁXIMA	RESISTÊNCIA EFETIVA
CP 1	46,10	1,47
CP 2	51,00	1,63
CP 3	49,30	1,60
CP 4	48,80	1,55
CONCRETO 40% CAREPA		
CORPO DE PROVA	FORÇA MÁXIMA	RESISTÊNCIA EFETIVA
CP 1	54,20	1,70
CP 2	41,10	1,30
CP 3	44,20	1,38
CP 4	46,10	1,46

Fonte: Autoria própria

Pereira (2008) em sua pesquisa, também observou uma queda na resistência do material devido à adição de carepa e seus resultados seguiram uma redução linear, conforme observado neste trabalho.

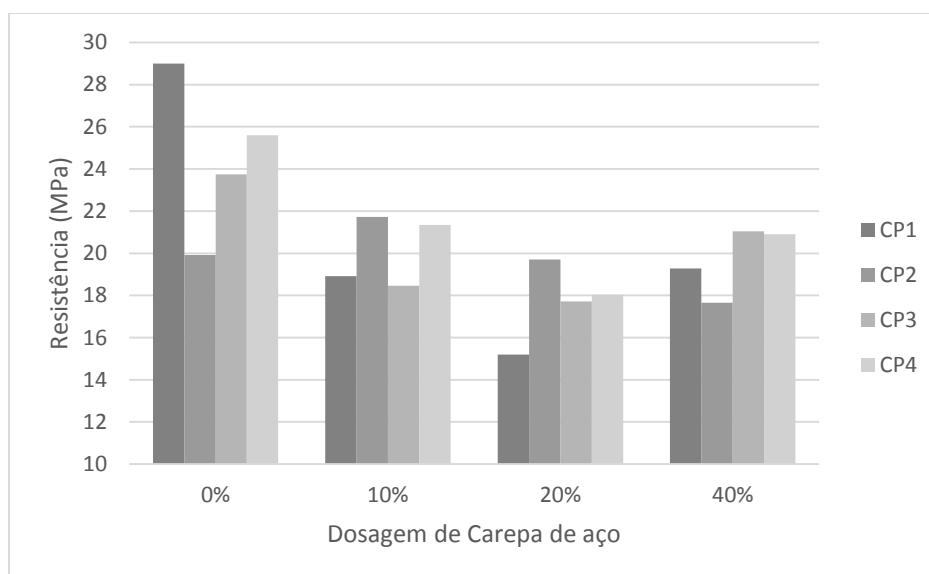
Apesar das aparentes diferenças de valores apresentados pelos ensaios de compressão e tração, no cálculo do coeficiente de variabilidade para cada traço de concreto no ensaio de compressão, obteve-se valores menores que 15%, portanto, baixa dispersão, como demonstrado na Tabela 15. Estas variações entre os corpos de prova utilizados nos ensaios podem ser causados pela baixa precisão na preparação da pasta do concreto.

**Tabela 16 – Coeficiente de variação**

Porcentagem Carepa	Compressão	Tração
0%	13,4%	12,3%
10%	7,2%	9,7%
20%	9,1%	3,3%
40%	7,0%	10,2%

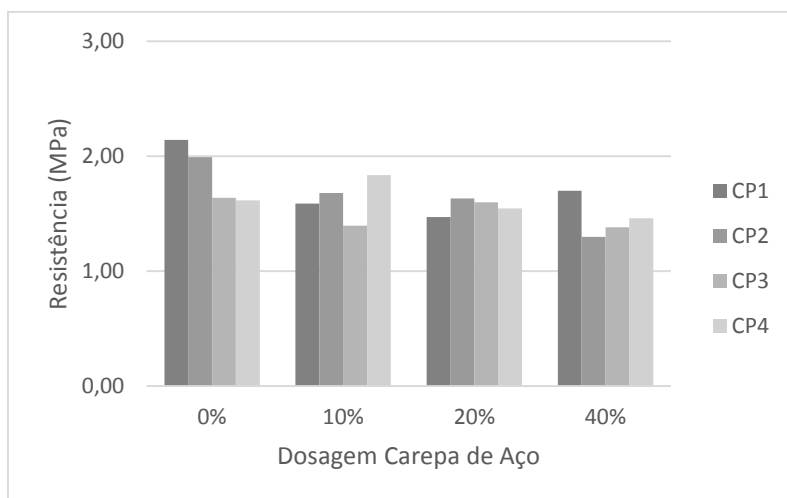
Fonte: Autoria própria (2017)

Uma hipótese considerada para a redução da resistência à compressão é a presença de óleos e graxas na carepa de aço, oriundos da laminação e lingotamento contínuo, que podem influenciar nas reações de hidratação do cimento Portland (PEREIRA et al., 2008).

**Gráfico 4 – Resistência dos corpos de prova à compressão**

Fonte: Autoria própria (2017)

No Gráfico 4 e Gráfico 5, estão expostos os resultados dos ensaios de compressão e tração diametral, observou-se que, devido ao acréscimo de carepa de aço, os corpos de prova apresentaram diminuição da resistência no concreto.

**Gráfico 5 – Resistência dos corpos de prova à tração**

Fonte: Autoria própria (2017)

## 8 CONCLUSÕES

A partir dos ensaios realizados, conclui-se que:

A carepa de aço não apresenta características favoráveis para o emprego como agregado miúdo, este material também mostrou explicitou necessidade de um processo cuidadoso e padronizado na seleção, armazenagem e moagem para utilização no concreto. O emprego de maquinários para a moagem do produto torna-se indispensável diante da dificuldade em obter-se um material adequadamente fino.

O resíduo produzido pelo processo de laminação geralmente encontra-se em locais expostos à contaminação de óleos e graxas, provenientes do processo de lingotamento contínuo, os quais podem influenciar na aderência do agregado à pasta de concreto, por isso, a aplicação da carepa de aço na fabricação do concreto exige um material supervisionado e selecionado.

Com os resultados dos ensaios, entre os corpos de prova que foram empregados o resíduo sólido, a dosagem com 10% carepa de aço foi a que apresentou desempenho à resistência à tração e compressão, absorção de água, massa específica, módulo de elasticidade e trabalhabilidade semelhante à do concreto referência, entretanto, seus valores são inferiores.

Portanto, conclui-se que, a adição de carepa de aço no concreto não contribui para o melhoramento ou constância nas características do material produzido como também não soluciona, com eficiência, o problema de destinação do resíduo sólido. Este último fato explica-se pela baixa quantidade de carepa de aço que poderia ser empregada no concreto produzido, se utilizado em situações de baixa solicitações adequada à sua baixa resistência.

## 9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Elisandro de, **Potencial de utilização do resíduo “carepa de aço” na fabricação de blocos de concreto**, Centro Universitário Univates - Lajeado, 2009. Disponível em: <<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp098750.pdf>> Acesso em: 23 de Agosto de 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768**: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7217**: Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222**: Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522**: Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro, 2008.

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, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53**: Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67**: Concreto - determinação da consistência pelo abatimento de tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.



CALLISTER JR., WILLIAM D., **Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma Introdução**, 1a ed., Rio de Janeiro, LTC, 2002.

CUNHA, A. F.; MOL, M. P. G.; MARTINS, M. E.; ASSIS, P. S., **Caracterização, beneficiamento e reciclagem de carepas geradas em processos siderúrgicos**. Metalurgia & Materiais, Ouro Preto, v. 59, n. 1, p. 111-116, 2006.

ELY, Aloísio. **Economia do meio ambiente**: uma apreciação introdutória interdisciplinar da poluição, ecologia e qualidade ambiental. Porto Alegre, Fundação de Economia e Estatística, 1986.

GERDAU S.A. **Construindo com o aço o desenvolvimento sustentado. Relatório anual de atividades**. Sapucaia do Sul, 2003. Disponível em: <<http://www.gerdau.com.br>>. Acesso em: 23 de Outubro de 2016.

GERDAU S.A. **Relatório de Gestão Ambiental da Gerdau Riograndense**. Sapucaia do Sul, 2008. Disponível em: <<http://www.gerdau.com.br>>. Acesso em: 6 de Novembro de 2017.

GOERGEN, D. A. **O potencial na utilização de “carepa de aço”, na fabricação de blocos de concreto**. Centro Universitário Univates, 2006.

Gonçalves, M. R. F.; Scapineli, C.; Bergmann, C. P. ICTR 2004 – CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM RESÍDUOS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, **Utilização de carepa como agregado para produção de artefatos de cimento**, Costão do Santinho – Florianópolis – Santa Catarina, 2004. Disponível em <[www.periodicos.ulbra.br/index.php/ic/article/download/1657/1175](http://www.periodicos.ulbra.br/index.php/ic/article/download/1657/1175)> Acesso em 23 de Outubro de 2016.

JOHN, V.M. **Reciclagem de resíduos na construção civil**: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. 2000. Tese (Livre Docência) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

KIPPER, L. M. **Ações estratégicas sistêmicas para a rede sustentável de reciclagem de plásticos**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo, SP: Pini, 1994.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do Concreto / Tradução Salvador E. Giammusso** – São Paulo, Pini, 1997.

NEVILLE, Adam M. **Tecnologia do concreto**. 2 ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2013.  
OLIVEIRA, L. C. P. **Panorama da gestão de resíduos: evoluções e tendências**. Belo Horizonte: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2004. (Trabalho apresentado no Workshop Gerenciamento de Resíduos Sólidos no Setor Mineral-Metalúrgico).

PEREIRA, Gisele L.; COSSA, Rafael J.; PEREIRA, Fernanda M., **Estudo da viabilidade da utilização de carepa de aço na produção de concreto**. Revista de Iniciação Científica da ULBRA, 2008.

PETRUCCI, Eladio G. R. **Concreto de cimento Portland**. 13 ed. São Paulo: Globo, 1998.

WWF. **Relatório planeta vivo 2008**. Disponível em: <<http://assets.wwf.org.br>>. Acesso em: 21 de Outubro de 2016.