



**FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**FABIO HENRIQUE FERREIRA DE BRITO  
TALITA RODRIGUES COTRIM**

**USO DO CARBETO DE SILÍCIO COMO AGREGADO  
GRAÚDO NO CONCRETO ESTRUTURAL**

**PUBLICAÇÃO Nº: 23**

**GOIANÉSIA / GO  
2019**



**FABIO HENRIQUE FERREIRA DE BRITO  
TALITA RODRIGUES COTRIM**

**USO DO CARBETO DE SILÍCIO COMO AGREGADO  
GRAÚDO NO CONCRETO ESTRUTURAL**

**PUBLICAÇÃO N°: 23**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA FACEG.**

**ORIENTADOR: M.Sc WELINTON ROSA DA SILVA**

**GOIANÉSIA / GO: 2019**

## FICHA CATALOGRÁFICA

BRITO, FABIO HENRIQUE FERREIRA DE; COTRIM, TALITA RODRIGUES.

Uso do Carbetto de Silício como Agregado Graúdo no Concreto Estrurural [Goiás] 2019 xvi, 51P, 297 mm (ENC/FACEG, Bacharel, Engenharia Civil, 2019).

TCC – FACEG – FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA

Curso de Engenharia Civil.

- |                        |                          |
|------------------------|--------------------------|
| 1. Esbeltez            | 2. Resistencia a abrasão |
| 3. Carbetto de silicio | 4. Durabilidade          |
| I. ENC/FACEG           | II. Título (Série)       |

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BRITO, F. H. F.; COTRIM, T. R. Uso do Carbetto de Silício como Agregado Graúdo no Concreto Estrurural. TCC, Publicação ENC. PF-001A/07, Curso de Engenharia Civil, Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianesia, GO, 70p. 2019.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DOS AUTORES: Fabio Henrique Ferreira de Brito; Talita Rodrigues Cotrim.

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Uso do Carbetto de Silício como Agregado Graúdo no Concreto Estrurural.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil ANO: 2019

É concedida à Unievangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Fabio Henrique Ferreira de Brito  
Rua 34 Oeste, 524  
76388-510 - Goianésia/GO – Brasil

---

Talita Rodrigues Cotrim  
Rua 23 Norte, 82  
76380-000 - Goianésia/GO – Brasil

**FABIO HENRIQUE FERREIRA DE BRITO  
TALITA RODRIGUES COTRIM**

**USO DO CARBETO DE SILÍCIO COMO AGREGADO  
GRAÚDO NO CONCRETO ESTRUTURAL**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE  
ENGENHARIA CIVIL DA FACEG COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL.**

**APROVADO POR:**



\_\_\_\_\_  
**WELINTON ROSA DA SILVA, Mestre (Faculdade Evangélica de Goianésia)  
(ORIENTADOR)**



\_\_\_\_\_  
**EDUARDO TOLEDO MARTINS, Mestre (Faculdade Evangélica de Goianésia)  
(EXAMINADOR INTERNO)**



\_\_\_\_\_  
**ROBSON DE OLIVEIRIA FÉLIX, Especialista (Faculdade Evangélica de Goianésia)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

**DATA: GOIANÉSIA/GO, 07 de DEZEMBRO de 2019.**

*Dedicamos este trabalho:  
Aos nosso pais, Gilmar e Maria, Paulo e Valcilei  
e aos nossos irmão, Jean e Paulo;  
e ao nosso amigo e idealizador deste  
trabalho, Rodrigo Batista (in memórian).*

## AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus por ter nos dados forças para superar todos os obstáculos e por ter nos guiado durante este longo trajeto. Aos meus pais Maria Luzdete e Gilmar, meus maiores incentivadores, nunca mediram esforços para hoje eu estar aqui realizando o sonho de ser engenheiro. Ao meu irmão Jean Flávio que também sempre me incentivou e apoiou durante todo o curso.

Ao nosso orientador M.Sc Welinton Rosa, pela orientação e confiança em nosso potencial. A todos os professores do curso que contribuíram para a minha formação, em especial a professora M.Sc Danielly Luz de Araújo, que sempre estimulou a busca de novos conhecimentos, e pelas dicas e incentivos para eu ingressar em um programa de mestrado. Aos meus amigos de graduação pela amizade, momentos divertidos e pela ajuda durante os momentos difíceis.

A empresa Saint-Gobain Unidade de Barbacena – MG, pela disposição em nos ajudar neste trabalho e o fornecimento gratuito das amostras de Carbetto de Silício, em especial a Analista de pesquisa e desenvolvimento Patrícia Brum, que durante a realização do experimento sempre manteve contato, se dispondo para sanar quaisquer dúvidas que pudéssemos ter referente ao material.

Ao professor Elton Bauer coordenador do Laboratório de Ensaio de Materiais da Universidade de Brasília, por disponibilizar o laboratório para realizarmos o ensaio a compressão axial dos corpos de provas, ao técnico de laboratório da UnB Gabriel, pelo acompanhamento e instrução de como realizar o ensaio. A técnica de laboratório da Uni Evangélica de Anápolis, pela disposição em nos ajudar a produzir os concretos e moldar os corpos de provas.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me permitido passar por esses cinco anos e por cada oportunidade proporcionada.

Agradeço a todos os meus familiares, em especial a meus pais Paulo e Valcilei, que não mediram esforços para realização de um sonho, sempre orando por mim com muita fé, sabedoria e amor. E meu irmão Paulo Cotrim, por todo o incentivo, por me apoiar e se orgulhar de mim, mesmo que muitas vezes eu não mereça. Sou grata por estar comigo me motivando nos momentos em que o desânimo vem e pelos abraços tão carinhos ofertados com o intuito de me fortalecer.

Agradeço aos meus professores, tanto aqueles que completam essa jornada junto a mim, quanto aos que se fizeram ausentes no decorrer dos anos, mas que em algum momento durante esse período foram de suma importância para a minha formação. A todos vocês, em especial a meu orientador Welinton Rosa, o meu muito obrigada. Agradeço também minha instituição pelo fornecimento das ferramentas necessárias para chegar ao final desse ciclo de maneira satisfatória.

Agradeço aos meus amigos e colegas que estiveram também nessa mesma jornada, e que me ajudaram muito no decorrer desses anos. Em especial, ao meu amigo e parceiro Fábio que se dedicou 100 % ao projeto e que foi extremamente paciente comigo, onde muitas vezes fui falha. A você sou muito grata.

Por fim, muito obrigada a todos que de alguma forma colaborou para realização de mais um ciclo na minha vida.

## RESUMO

Com a modernização da construção civil, a procura por novos tipos de técnicas e materiais para empregar no concreto em busca de obter maiores resistências e durabilidade, não para. A resistência a compressão é a principal característica de um concreto estrutural e o tipo de cimento, agregado graúdo e miúdo, a quantidade de água e o método de cálculo do traço interferem diretamente neste parâmetro. No Brasil, grande parte das estruturas nas construções civis são feitas com o concreto armado. Por apresentar ótimas propriedades como dureza elevada, resistência a abrasão, ao fogo, inerte químico, o carbetto de silício pode ser um bom agregado graúdo em busca de melhorar tanto a durabilidade quanto a resistência a compressão do concreto e conseqüentemente o caminho para executar peças estruturais mais esbeltas de concreto armado nas construções. Neste trabalho foram analisadas as resistências médias a compressão de nove traços de concreto, os quais se diferem pela alternância de porcentagens do agregado graúdo entre Carbetto de Silício e Brita zero. Entre os traços analisados, todos os que continham SiC em sua composição tiveram resistência média acima do traço que continha apenas brita zero como agregado, com destaque aos traços de 100% SiCM, 100%SiCC e 75%SiCC que apresentaram resistências de 50.14MPa, 48.12MPa e 45,47MPa respectivamente, enquanto o traço que continha apenas brita zero suportou uma tensão de 30,92MPa.

**Palavras chaves:** Esbeltez, resistência a abrasão, carbetto de silício, durabilidade.



## ABSTRACT

Due to the modernization of civil construction, the seek for new kind of technique and materials to use in concrete seeking to get better resistance and durability, does not break. Compressive strength is the main structural concrete characteristic and the kind of cement, coarse and small aggregate, amount of water and the concrete trace calculation interfere directly in this parameter. In Brazil, most of the civil construction structure are made using the reinforced concrete. Owing to have great properties as high hardness, wear and fire resistance, chemical inert, the silicon carbide might be an excellent coarse aggregate in attempt to improve the concrete durability and the compressive strength, thereby the way to execute slender structural parts using reinforced concrete. In this work we analyzed the average compressive strengths of nine concrete traces, which differ by the alternation of coarse aggregate percentages between Silicon Carbide and zero gravel. Among the traits analyzed, all those containing SiC in their composition had average resistance above the trait that contained only zero gravel as aggregate, with emphasis on the traits of 100% SiCM, 100% SiCC and 75% SiCC that presented resistances of 50.14MPa, 48.12MPa and 45.47MPa respectively, while the trace containing only zero gravel supported a rupture force of 30.92MPa.

**Key words:** Slender, wear resistance, silicon carbide, durability.

**LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura 1-</b> Curva de abrams da resistência a compressão para o concreto aos 28 dias. ....	28
<b>Figura 2 -</b> Determinação da relação água/cimento. ....	51

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Classes de resistência de concretos estruturais. ....	20
<b>Tabela 2</b> – Limites máximos aceitáveis de substâncias nocivas no agregado miúdo com relação à massa do material. ....	22
<b>Tabela 3</b> - Limites máximos aceitáveis de substâncias nocivas no agregado graúdo com relação à massa do material. ....	23
<b>Tabela 4</b> – Requisitos físicos e mecânicos. ....	24
<b>Tabela 5</b> – Requisitos para substâncias prejudiciais. ....	25
<b>Tabela 6</b> – Classes de Agressividade Ambiental. ....	26
<b>Tabela 7</b> – Relação água/cimento Máxima permitida. ....	26
<b>Tabela 8</b> – Valores para $S_d$ . ....	27
<b>Tabela 9</b> – Consumo aproximado de água ( $l/m^3$ ). ....	28
<b>Tabela 10</b> – Volume Agregado Graúdo ( $m^3/m^3$ ). ....	29
<b>Tabela 11</b> – Classes de consistência. ....	31
<b>Tabela 12</b> – Porcentagens de agregado graúdo. ....	43
<b>Tabela 13</b> - Determinação da granulometria da areia. ....	47
<b>Tabela 14</b> - Determinação da granulometria da brita. ....	48
<b>Tabela 15</b> – Determinação da granulometria do Carbetto de Silício Metalúrgico. ....	49
<b>Tabela 16</b> - Determinação da granulometria do Carbetto de Sílicio Cristal. ....	49
<b>Tabela 17</b> - Massa específica dos grãos soltos. ....	50
<b>Tabela 18</b> - Massa específica dos grãos compactados. ....	50
<b>Tabela 19</b> - Ensaio à compressão axial CP's utilizando SiC Metalúrgico. ....	59
<b>Tabela 20</b> - Ensaio à compressão axial CP's utilizando SiC Cristal. ....	60

**LISTA DE GRÁFICOS**

<b>Gráfico 1</b> - Curva granulométrica dos grãos de areia. ....	48
<b>Gráfico 2</b> - Curva granulométrica dos grãos de brita. ....	48
<b>Gráfico 3</b> - Curva Granulometrica do SiC Metalúrgico. ....	49
<b>Gráfico 4</b> - Curva Granulométrica SiC Cristal. ....	50
<b>Gráfico 5</b> – Tensão Média admissível a compressão para os CP's SiC M.....	61
<b>Gráfico 6</b> - Tensão Média Admissível a compressão para os CP's SiC C.....	62
<b>Gráfico 7</b> – Relação das resistências entre CP's com SiC Cristal e CP's Referência. ....	63

**LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ACI – *American Concrete Institute*.

CP's – Corpos de Prova.

DMC – Dimensão máxima característica.

E.L.S – Estado Limite de Serviço.

E.L.U – Estado Limite Último.

Eq. – Equação.

GO – Goiás.

MF – Módulo de finura do agregado.

MG – Minas Gerais.

NBR – Norma Técnica.

SiC – Carbetos de Silício.

SiC C– Carbetos de Silício Cristal.

SiC M– Carbetos de Metalúrgico.

**LISTAS DE SÍMBOLOS**

- $a/c$  - Relação água/cimento
- Ca - Consumo de água (l / m<sup>3</sup>)
- Cb - Consumo de brita (kg / m<sup>3</sup>)
- Cc - Consumo de cimento (kg / m<sup>3</sup>)
- Cg - Consumo de agregado graúdo (kg / m<sup>3</sup>)
- Cs - Consumo de carbetto de silício (kg / m<sup>3</sup>)
- D - Massa unitária (kg/dm<sup>3</sup>);
- Fck - Resistência do concreto (MPa)
- M - Massa do agregado (kg);
- Mg - Massa unitária compactada do agregado graúdo (kg / m<sup>3</sup>)
- Sd - Desvio padrão de dosagem
- Va - Volume aparente (dm<sup>3</sup>);
- Vg - Volume do agregado graúdo em (m<sup>3</sup> / m<sup>3</sup>)
- Vm - Volume do agregado miúdo (m<sup>3</sup> / m<sup>3</sup>)
- Vr - Volume real (dm<sup>3</sup>);
- $\gamma_a$  - Peso específico da água (kg / m<sup>3</sup>)
- $\gamma_c$  - Peso específico do cimento (kg / m<sup>3</sup>)
- $\gamma_g$  - Peso específico do agregado graúdo (kg / m<sup>3</sup>)
- $\gamma_m$  - Peso específico do agregado miúdo (kg / m<sup>3</sup>)
- $\rho$  - Massa específica (kg / dm<sup>3</sup>);

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
1.1	JUSTIFICATIVA .....	18
1.2	OBJETIVOS .....	18
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo Geral .....</b>	<b>18</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos Especificos .....</b>	<b>18</b>
1.3	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....	19
<b>2</b>	<b>CONCRETO ESTRUTURAL.....</b>	<b>20</b>
2.1	MATERIAIS DO CONCRETO .....	20
<b>2.1.1</b>	<b>Agregados .....</b>	<b>20</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Aglomerante .....</b>	<b>23</b>
<b>2.1.3</b>	<b>Água .....</b>	<b>25</b>
2.2	TRAÇO DO CONCRETO .....	26
<b>2.2.1</b>	<b>Método ABCP .....</b>	<b>27</b>
2.3	CONCRETO FRESCO .....	31
2.4	PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO .....	32
<b>2.4.1</b>	<b>Cura .....</b>	<b>32</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Resistencia a Compressão .....</b>	<b>32</b>
2.5	SISTEMA ESTRUTURAL DAS PEÇAS DE CONCRETO ARMADO .....	32
<b>2.5.1</b>	<b>Vigas.....</b>	<b>33</b>
<b>2.5.2</b>	<b>Pilar.....</b>	<b>33</b>
<b>3</b>	<b>CARBETO DE SILÍCIO .....</b>	<b>35</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>37</b>
4.1	MATERIAIS .....	37
<b>4.1.1</b>	<b>Aglomerante .....</b>	<b>37</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Agregado Miúdo .....</b>	<b>37</b>
<b>4.1.3</b>	<b>Agregado Graúdo .....</b>	<b>38</b>
<b>4.1.4</b>	<b>Água .....</b>	<b>38</b>
<b>4.1.5</b>	<b>Outros Materiais.....</b>	<b>38</b>
4.2	ENSAIO GRANULOMÉTRICO .....	39
<b>4.2.1</b>	<b>Procedimento .....</b>	<b>39</b>
4.3	DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA .....	40
<b>4.3.1</b>	<b>Materiais Utilizados.....</b>	<b>40</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Procedimento .....</b>	<b>40</b>
4.4	TRAÇO DO CONCRETO .....	42

4.5 CONCRETAGEM.....	44
4.6 ENSAIO DO TRONCO DE CONE.....	44
4.7 MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA.....	45
4.8 CURA DOS CORPOS DE PROVA.....	46
4.9 ENSAIO DE COMPRESSÃO.....	46
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>47</b>
5.1 ENSAIO GRANULOMETRICO.....	47
5.2 MASSA ESPECIFICA.....	50
5.3 TRAÇO DO CONCRETO.....	51
<b>5.3.1 Apresentação Dos Traços.....</b>	<b>57</b>
5.4 ENSAIO COMPRESSÃO AXIAL.....	59
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>64</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICA.....</b>	<b>65</b>



## 1 INTRODUÇÃO

O concreto surgiu na Grécia por volta do século III A.C., essa descoberta se deve à necessidade de construir edificações destinadas a receber a elite social e a sede administrativa do governo nas cidades que eles conquistavam. A cada nova cidade conquistada, os romanos testavam novas tecnologias e variedades de materiais de construção. Inicialmente desenvolvido pelos romanos, o concreto era composto por pedra, água, areia e pozolana. Desse período até os dias atuais, o concreto passou por grandes transformações (OLIVEIRA, 2017).

O processo de modernização da Construção Civil vem se intensificando de forma constante nas últimas décadas. Surgiram novos materiais, técnicas e conceitos inovadores (VENDRAMENTO; FRACCARI E BOTELHO, 2004). O estudo dos materiais é indispensável para reduzir as patologias construtivas. O conhecimento dos materiais empregados gera redução de custos, e facilita a execução (WEIDMANN 2008).

Atualmente, as peças estruturais fabricadas em concreto são as mais utilizadas na Construção Civil. Isso está diretamente relacionado ao fato do concreto ser um material que permite maior trabalhabilidade, que facilita a modelagem e a concepção arquitetônica (WANGLER et al., 2016).

Nos últimos anos, foram realizados muitos estudos com o concreto para conseguir um material com boa resistência mecânica e durabilidade. Os pesquisadores procuram diversificar a qualidade do concreto utilizando diferentes tipos de materiais, tais como, agregados com alto índice de resistência, adesivos plastificantes, dentre outros (PANDOLFELLI; CASTRO, 2009).

De acordo com Neto, Oliveira & Ramos (2011), é primordial que os agregados apresentem alguns parâmetros que se relacionam diretamente com o seu desempenho. Os mesmos não podem ter argilas ao seu redor, precisam ser duros e duráveis, além de disponibilizar boa resistência. Os autores ainda ressaltam que a porosidade do agregado afeta na resistência do concreto, ou seja, quanto mais poroso, menor a resistência.

O Carbetto de Silício (Sic) é um material cerâmico que dispõe de boas propriedades mecânicas, físicas e químicas, tais como, resistência ao desgaste, elevado valor de dureza, alto índice de condutividade térmica, alto módulo de elasticidade, é inerte a ácidos e ainda apresenta baixa densidade quando comparado a outros materiais

cerâmicos. Essas propriedades fazem com que o SiC tenha uma grande gama aplicações em diferentes segmentos (LIU et al., 2015). Os primeiros relatos sobre o SiC, aconteceram por volta de 1810 pelo químico sueco Jons Jacob Berzelius. No entanto, o material começou a ser industrializado em 1983 pelo químico Acheson, na tentativa de criar um material que pudesse substituir o diamante e alguns materiais abrasivos que são utilizados em ferramentas de corte e polimento (MARINS, 2008).

Os corpos de provas de concreto são normatizados pela NBR 5378/2015, a qual determina o formato geométrico e as dimensões das formas, o adensamento dos corpos de provas, o procedimento de cura do concreto, e a preparação da base dos corpos de prova para ensaio de compressão axial. A NBR 12655/2015 normatiza o preparo do concreto utilizando o cimento Portland, determina o traço do concreto, cálculo da resistência, ensaio de consistência e compressão, condições de durabilidade (ABNT, 2015).

## **1.1 JUSTIFICATIVA**

A arquitetura das edificações modernas exige peças estruturais de concreto cada vez mais esbeltas. Assim, é fundamental obter maior resistência e reduzir as dimensões das peças estruturais. A substituição da brita (agregado graúdo do concreto) pelo Carbetto de Silício (SiC) pode ser uma alternativa para obter peças que apresentam melhores propriedades mecânicas, e peso reduzido.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Avaliar o concreto obtido à partir da substituição da brita (agregado graúdo do concreto convencional) pelo Carbetto de Silício (SiC).

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Realizar uma revisão bibliográfica sobre o material Carbetto de Silício.

- Efetuar testes de compressão com corpos de prova provenientes de diferentes traços de Carbetos de Silício.
- Analisar se os corpos de prova avaliados estão em conformidade com as normas vigentes.
- Avaliar se haverá aumento de resistência dos corpos de prova que possuem Carbetos de Silício.

### **1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO**

Este trabalho está organizado em 6 capítulos. No capítulo 2, apresentamos uma revisão bibliográfica sobre o concreto estrutural, com destaque nos materiais utilizados para fazer o concreto e o método de dosagem ABCP. O capítulo 3 traz uma revisão bibliográfica sobre o Carbetos de Silício. No capítulo 4, falamos sobre a metodologia utilizada para a realização do trabalho, descrevendo os ensaios realizados e os materiais necessários. No capítulo 5, são apresentados os resultados e as discussões obtidas nos ensaios com ênfase principal no ensaio a compressão axial – determinante para conhecer o  $f_{ck}$  do concreto. No capítulo 6, são apresentadas nossas conclusões acerca deste trabalho.

## 2 CONCRETO ESTRUTURAL

A NBR 8953 (ABNT, 2015) divide os concretos para fins estruturais em duas classes diferentes de acordo com sua resistência, como pode ser observado na Tabela 1. A classe I compreende os concretos que apresentam resistência de 20MPa a 50MPa, enquanto na classe II a resistência varia de 55MPa a 100MPa. A norma ainda estabelece que concretos com resistência inferior a 20MPa, não podem ser utilizados em elementos estruturais.

**Tabela 1** – Classes de resistência de concretos estruturais.

Classe de resistência Grupo I	Resistência característica à compressão MPa	Classe de resistência Grupo II	Resistencia característica à compressão MPa
C20	20	C55	55
C25	25	C60	60
C30	30	C70	70
C35	35	C80	80
C40	40	C90	90
C45	45		
C50	50	C100	100

Fonte: ABNT, 2015.

### 2.1 MATERIAIS DO CONCRETO

Os principais materiais utilizados para a fabricação do concreto são os agregados (gráudo e miúdo), água e aglomerante (cimento). Entretanto, o concreto ainda pode conter aditivos, adições minerais dentre outros produtos que são utilizados para melhorar o desempenho mecânico e físico, trabalhabilidade e a durabilidade do concreto (JACQUES, 2014).

#### 2.1.1 Agregados

Os agregados são responsáveis por cerca de três quartos do volume total do concreto, o que é justificado por apresentarem boas propriedades que contribuem na

redução do consumo de cimento. As principais características destes materiais estão ligadas diretamente a resistência, durabilidade e trabalhabilidade do concreto, as quais são dependentes das composições mineralógicas e químicas, da dureza, resistência e das estruturas de poros, que variam de acordo com o tipo de rocha que eles são extraídos (WEIDMANN, 2008).

A NBR 9935 (ABNT, 2011) define os agregados como material granular inerte químico e classifica-os quanto a origem – natural, artificial ou reciclado - e dimensão dos grãos – agregado graúdo e agregado miúdo. A NBR 7211 (ABNT, 2009) não permite que os agregados apresentem substâncias que interferem no processo de hidratação e endurecimento do concreto, assim como aquelas que afetam sua durabilidade e proteção da armadura contra a corrosão, quando utilizados em estruturas expostas ao ambiente.

Weidmann (2008) observou que a aderência do agregado e a pasta de cimento, assim como a quantidade de água utilizada na mistura, são influenciados diretamente pela rugosidade superficial dos agregados. De acordo com o autor, quanto mais rugosa/porosa, melhor será a aderência do agregado com a pasta de cimento, resultando em maiores resistências a tração e a flexão. Outro fator que também interfere nas propriedades do concreto é a forma dos grãos dos agregados, entretanto sua influência é significativa apenas no concreto fresco, já que, quanto mais angulosas e alongadas forem os grãos, será necessária mais pasta para atingir misturas de mesma trabalhabilidade (WEIDMANN, 2008).

De acordo com Larrard (1999 *apud* Fabro et al., 2011) o comportamento reológico do concreto é determinado pela relação entre as partículas finas e o somatório das partículas grossa e finas. Ao fazer a análise o autor percebeu que quando aumenta a porcentagem dos materiais finos no concreto, o índice de vazios reduz, entretanto existe um limite máximo, atingindo este limite, o agregado miúdo impede a acomodação dos agregados graúdos deixando-os distante uns dos outros o que afeta diretamente na resistência mecânica do concreto.

#### **2.1.1.1 Agregado Miúdo**

A NBR 7211 (ABNT, 2011) padroniza o agregado miúdo como agregado passante pela peneira com abertura de 4,75mm e determina os limites máximos de

substâncias nocivas presentes no material em relação a sua massa, como pode ser observado na tabela 2.

**Tabela 2** – Limites máximos aceitáveis de substâncias nocivas no agregado miúdo com relação à massa do material.

Determinação	Método de ensaio	Quantidade máxima relativa à massa do agregado miúdo %	
Torrões de argila e materiais friáveis	ABNT NBR 7218	3,0	
Materiais carbonosos <sup>a</sup>	ASTM C 123	Concreto aparente	0,5
		Concreto não aparente	1,0
Material fino que passa através da peneira 75 µm por lavagem (material pulverulento)	ABNT NBR NM 46	Concreto submetido a desgaste superficial	3,0
		Concretos protegidos do desgaste superficial	5,0
	ABNT NBR NM 49	-	A solução obtida no ensaio deve ser mais clara do que a solução-padrão
Impurezas Orgânicas	ABNT NBR 7221	Diferença máxima aceitável entre os resultados de resistência à compressão comparativos	10 %

<sup>a</sup> Quando não for detectada a presença de materiais carbonosos durante a apreciação petrográfica, pode-se prescindir do ensaio de quantificação dos materiais carbonosos (ASTEM C 123)

<sup>b</sup> Quando a coloração da solução obtida no ensaio for mais escura do que a solução-padrão, a utilização do agregado miúdo deve ser estabelecida pelo ensaio previsto na ABNT NBR 7221.

Fonte: ABNT, 2009.

Segundo Silva et al. (2018) os agregados miúdos naturais normalmente não precisam serem submetidos a severos processos de beneficiamento, entretanto devem atender as imposições da NBR 7211 (ABNT, 2009) citadas acima, completadas pelo grau de umidade, também previsto na norma. Os autores apontam a areia como o agregado miúdo mais utilizado em argamassas e concretos, devido sua capacidade de melhorar a coesão da mistura.

### 2.1.1.2 Agregado Graúdo

A NBR 7211 (ABNT, 2009) padroniza o agregado graúdo como agregado passante pela peneira com abertura de 75mm e que fica retido na peneira de 4,75mm, e determina os limites máximos de substâncias nocivas presentes no material em relação a sua massa, como pode ser observado na tabela abaixo.

**Tabela 3** - Limites máximos aceitáveis de substâncias nocivas no agregado graúdo com relação à massa do material.

Determinação	Método de Ensaio	Quantidade máxima relativa a massa do agregado graúdo %	
Torrões de argila e materiais friáveis	ABNT NBR 7218	Concreto aparente	1,0
		Concreto sujeito a desgaste superficial	2,0
		Outros concretos	3,0
Materiais carbonosos <sup>a</sup>	ASTM C 123	Concreto aparente	0,5
		Concreto não aparente	1,0
Material fino que passa através da peneira 75 µm por lavagem (material pulverulento) <sup>b,c</sup>	ABNT NBR NM 46	-	1,0

<sup>a</sup> Quando não for detectada a presença de materiais carbonosos durante a apreciação petrográfica, pode-se prescindir do ensaio de quantificação dos materiais carbonosos (ASTEM C 123)

<sup>b</sup> Para agregados produzidos a partir de rochas com absorção de água inferior a 1%, determinados conforme a ABNT NBR NM 53, o limite de material fino pode ser alterado de 1% para 2%

<sup>c</sup> Para agregado total, definido conforme 3.6, o limite de material fino pode ser composto até 6,5%, desde que seja possível comprovar, por apreciação petrográfica, realizada de acordo com a ABNT NBR 7389, que os grãos constituintes acima de 150 µm não indicam a presença de finos que interferem nas propriedades do concreto. São exemplos de materiais prejudiciais ou micáceos, ferruginosos e argilosminerais expansivos.

Fonte: ABNT, 2009.

### 2.1.2 Aglomerante

O aglomerante é de suma importância para que se possa produzir o concreto. Responsável por unir os outros materiais que compõem o concreto, o aglomerante normalmente é um pó que quando combinado com água resulta em um fluido que após um determinado tempo passa para o estado sólido por secagem simples do material: quando é utilizado aglomerantes quimicamente inertes (argila); ou por reações químicas: quando utilizado aglomerantes quimicamente ativos, tais como cimento e cal (DE CARVALHO, 2009).

### 2.1.2.1 Cimento Portland

Classificado como aglomerante hidráulico artificial, o cimento Portland atualmente é o material mais utilizado nas construções na produção de argamassas e concreto, por proporcionar boa trabalhabilidade quando apresenta adequada relação água/cimento. Obtido pela mistura do clínquer Portland moído com a adição de sulfato de cálcio, ao entrar em contato com a água, inicia-se os processos químicos que irão contribuir para o endurecimento do concreto. A resistência mecânica e a durabilidade do concreto estão diretamente relacionadas ao tipo e qualidade do cimento utilizado (ALMEIDA, 2012; BORGES et. al, 2016).

A NBR 16697 (ABNT, 2018) normatiza a fabricação dos cimentos Portland, determina o intervalo de porcentagens da adição de cada material utilizado no cimento e padroniza a resistência à compressão mínima que deve ser atingida no primeiro, terceiro, sétimo e vigésimo oitavo dia, como pode ser observado na tabela 4.

**Tabela 4** – Requisitos físicos e mecânicos.

Sigla <sup>a</sup>	Classe	Finura Resíduo na peneira 75 µm %	Tempo de início de pega min	Expansi- bilidade a quente mm	Resistência à compressão Mpa				Índice de brancura -
					1 dia	3 dias	7 dias	28 dias	
CP I	25	≤ 12,0	≥ 60	≤ 5	-	≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0	
CP I-S									
CP II-E	32	≤ 12,0	≥ 60	≤ 5	-	≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0	-
CP II-F	40	≤ 10,0	≥ 60	≤ 5	-	≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 40,0	
CP II-Z									
CP III	25	≤ 8,0	≥ 60	≤ 5	-	≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0	-
CP IV	32	≤ 8,0	≥ 60	≤ 5	-	≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0	-
	40	≤ 8,0	≥ 60	≤ 5	-	≥ 12,0	≥ 23,0	≥ 40,0	-
CP V	ARI	≤ 6,0	≥ 60	≤ 5	≥ 14,0	≥ 24,0	≥ 34,0	-	-
CPB ESTRUTURAL	25	≤ 12 <sup>b</sup>	≥ 60	≤ 5	-	≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0	
	32	≤ 12 <sup>b</sup>	≥ 60	≤ 5	-	≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0	≥ 78
	40	≤ 12 <sup>b</sup>	≥ 60	≥ 60	-	≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 40,0	
CPB NÃO ESTRUTURAL	-	≤ 12 <sup>b</sup>	≥ 60	≥ 60	-	≥ 5,0	≥ 7,0	≥ 10,0	≥ 82

<sup>a</sup> Requisitos aplicáveis também aos cimentos resistentes a sulfatos e de baixo calor de hidratação, identificados por sua sigla seguida do sufixo RS ou BC, respectivamente.

<sup>b</sup> Resíduo na peneira 45 µm.



Segundo Medeiros-Junior et. al (2014), nas construções brasileiras são utilizados cimentos de diferentes composições e adição de minerais durante a fabricação, alterando a resistência mecânica e as propriedades físicas e químicas. A autora Cafange (2011), aponta como os mais utilizados, os cimentos Portland comum CPI, composto CPII, alto forno CPIII, pozolânico CPIV e de alta resistência inicial CPV.

### 2.1.3 Água

De acordo com a ABNT NBR 15900-1/2009 a água para o uso em concreto o teor de cloreto máximo não pode ultrapassar 500mg/L em concreto protendido ou graute, 1000mg/L em concreto armado e 4500mg/L em concreto sem armadura. Se forem utilizados agregados reativos com álcalis, a água deve ser ensaiada de acordo com a NBR 15900-9, cujo o equivalente alcalino de óxido não pode ultrapassar 1500mg/L.

As contaminações da água de amassamento do concreto por substâncias tais como, açúcares, fosfatos, nitratos, chumbos e zinco podem alterar o tempo de pega do concreto e sua resistência. A NBR 15900-1 (ABNT, 2009) normatiza a quantidade máxima de cada uma dessas substâncias que podem estar presentes na água, como pode ser observado na tabela 5.

**Tabela 5 – Requisitos para substâncias prejudiciais.**

<b>Substância</b>	<b>Teor máximo mg/L</b>
Açúcares	100
Fosfato, expressos como P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	100
Nitratos, expressos como NO <sub>3</sub>	500
Chumbo, expressos como Pb <sup>2+</sup>	100
Zinco, expressos como Zn <sup>2+</sup>	100

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 15900-1/2009

#### 2.1.3.1 Relação Água/Cimento

A relação entre água e cimento (a/c) é um dos fatores mais importantes no concreto por interferir na maioria das propriedades tais como, durabilidade, resistência, porosidade, adensamento, trabalhabilidade, etc. (WONG; BUENFELD, 2009). A NBR 6118 (ABNT, 2014) define a relação máxima da proporção água/cimento para concretos

de finalidades estruturais de acordo com sua classe de agressividade, conforme as tabelas 6 e 7.

**Tabela 6** – Classes de Agressividade Ambiental.

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural Submersa	Insignificante
II	Moderada	Urbana	Pequeno
III	Forte	Marinha Industrial	Grande
IV	Muito forte	Industrial Respingo de maré	Elevado

Fonte: Adaptado ABNT, 2014.

**Tabela 7** – Relação água/cimento Máxima permitida.

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

<sup>a</sup> O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

<sup>b</sup> CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

<sup>c</sup> CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido

Fonte: ABNT,2014

## 2.2 TRAÇO DO CONCRETO

A resistência do concreto é está intimamente relacionada a dosagem. É necessário que a quantidade de agregados graúdos e miúdos, aglomerante e água sejam proporcionais e relacionadas entre si. Existem vários métodos para calcular o traço do concreto, entretanto, destaca-se entre eles o método da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), adaptado do método ACI (*American Concrete Institute*) (AMBROZEWICZ, 2012).

De acordo com Ambrozewicz (2012), o traço do concreto pode ser apresentado em (a) massa, (b) volume ou (c) cimento em massa e o restante dos materiais em volume.

### 2.2.1 Método ABCP

Para a definir o traço do concreto, é fundamental ter o conhecimento da resistência de projeto da estrutura e o tipo de cimento que será utilizado (equação 1).

$$F_{cj} = F_{ck} + 1,65 \cdot S_d \quad \text{Eq. (1)}$$

$F_{ck}$ : Resistência do concreto definida no projeto;

$S_d$ : Desvio padrão de dosagem

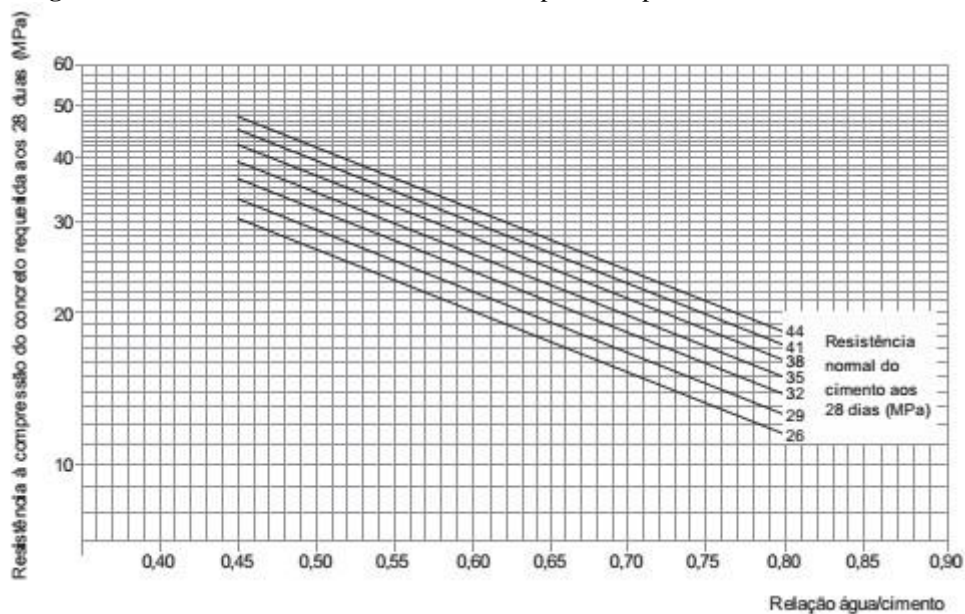
O valor de  $S_d$  é variável de acordo com o modelo do traço apresentado (massa, volume ou misto). A tabela 8 define os valores para  $S_d$  quando não se tem conhecimento do mesmo.

**Tabela 8 – Valores para  $S_d$ .**

Classe de aplicação	Crítérios de Medidas	$S_d$ (Mpa)
C10 até C80	Cimento e agregado: massa	4,0
	Água: massa ou volume	
	Água corrigida em função umidade	
C10 até C25	Cimento: massa	5,5
	Água: volume	
	Agregado: massa combinada com volume	
C10 até C20	Cimento: massa	5,5
	Água e agregado: volume	
	Água corrigida através da curva de inchamento	
C10 e C15	Cimento: massa	7,0
	Água e agregado: volume	
	Água corrigida através da umidade estimada	

Fonte: Adaptado de Ambrozewicz, 2012.

Encontrado o valor da resistência do projeto, é possível determinar a relação de água/cimento, utilizando a curva de abrams do cimento escolhido, observando a figura 1.

**Figura 1-** Curva de abrams da resistência a compressão para o concreto aos 28 dias.

Fonte: Ambrozewicz, 2012.

### 2.2.1.1 Consumo Dos Materiais

As tabelas e formulas do consumo de materiais são baseadas para o traço de 1 m<sup>3</sup> de concreto.

#### 2.2.1.1.1 Consumo de Água

O consumo de água é dependente do diâmetro do agregado graúdo e do abatimento do concreto, como é mostrado na tabela 10.

**Tabela 9** – Consumo aproximado de água (l/m<sup>3</sup>).

Abatimento (mm)	Diâmetro máximo do agregado graúdo (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
40 a 60	220	195	190	185	180
60 a 80	225	200	195	190	185
80 a 100	230	205	200	195	190

Fonte: Adaptado de Ambrozewicz, 2012.

### 2.2.1.1.2 Consumo De Cimento

A quantidade de cimento para cada traço de concreto é obtida pela relação de água/cimento.

$$C_c = \frac{C_a}{a/c} \quad \text{Eq. (2)}$$

$C_c$ : Consumo de cimento

$C_a$ : Consumo de água

$a/c$ : Relação água/cimento

### 2.2.1.1.3 Consumo De Agregado Graúdo

A determinação do volume necessário de agregado graúdo ( $V_g$ ) é obtido na tabela 11 em função do módulo de finura do agregado miúdo.

**Tabela 10** – Volume Agregado Graúdo ( $m^3/m^3$ ).

Módulo de finura	Dimensão Máxima (mm)				
	9,5	19	25	32	38
1,6	0,665	0,790	0,815	0,840	0,865
2,0	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825
2,4	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785
2,8	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745
3,2	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705
3,4	0,485	0,610	0,635	0,660	0,685
3,6	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665

Fonte: Adaptado de Ambrozewicz, 2012.

Após a determinação do  $V_g$ , é possível encontrar a quantidade de agregado graúdo em função da massa (kg) utilizando a equação 3.

$$C_g = V_g \cdot M_g \quad \text{Eq. (3)}$$

$C_g$ : Consumo de agregado graúdo em  $kg/m^3$

$V_g$ : Volume do agregado graúdo em  $m^3/m^3$  (Tabela 10)

$M_g$ : Massa unitária compactada do agregado graúdo  $kg/m^3$

#### 2.2.1.1.4 Consumo De Agregado Miúdo

O volume total de agregado graúdo consumido é encontrado utilizando a seguinte formula:

$$V_m = 1 - \left( \frac{C_c}{\gamma_c} + \frac{C_g}{\gamma_g} + \frac{C_a}{\gamma_a} \right) \quad \text{Eq. (4)}$$

$V_m$ : Volume do agregado miúdo;

$C_c$ : Consumo de cimento (kg)

$C_g$ : Consumo de agregado graúdo (kg/m<sup>3</sup>)

$C_a$ : Consumo de água em (l)

$\gamma_c$ : Peso específico do cimento (kg/m<sup>3</sup>)

$\gamma_g$ : Peso específico do agregado graúdo (kg/m<sup>3</sup>)

$\gamma_a$ : Peso específico da água (kg/m<sup>3</sup>)

Após a determinação do  $V_m$ , é possível encontrar a quantidade de agregado miúdo em função da massa (kg) utilizando a equação 4.

$$C_m = V_m \cdot \gamma_m \quad \text{Eq. (5)}$$

$C_m$ : Consumo de agregado miúdo em kg/m<sup>3</sup>

$V_m$ : Volume do agregado miúdo obtido na equação 4.

$\gamma_m$ : Peso específico do agregado miúdo em kg/m<sup>3</sup>

#### 2.2.1.2 Apresentação Do Traço

O traço do concreto como falado anteriormente, pode ser apresentado de diferentes formas, no entanto seguem a mesma estrutura, onde o primeiro valor é a quantidade de cimento, o segundo a quantidade de agregado miúdo, o terceiro é a quantidade de agregado graúdo e por último a quantidade de água ou relação água/cimento. Uma das principais formas de acordo com Ambrozewicz (2012), e a apresentação dos materiais em massa divididos pela quantidade de cimento em (kg), exemplificada na equação 6.

$$\frac{C_c}{C_c} : \frac{C_b}{C_c} : \frac{C_m}{C_c} : \frac{C_a}{C_c} \quad \text{Eq. (6)}$$

$C_c$ : Consumo de cimento

Cb: Consumo de brita

Cm: Consumo de areia

Ca: Consumo de água

## 2.3 CONCRETO FRESCO

O concreto possui duas fases distintas físicas, a fase em que se encontra fresco e a fase em que o material está endurecido. A fase fresca dura em média de 1 à 5 horas, sendo considerada o tempo desde a mistura dos componentes do concreto até o início da pega (HELENE & ANDRADE, 2010).

De acordo com Castro, Liborio & Pandolfelli (2001), o comportamento do concreto fresco está ligado a trabalhabilidade que é uma variável relacionada ao adensamento e método de concretagem. Por apresentar essa característica, é essencial que o concreto no estado fresco seja analisado através da reologia. Os autores ainda relataram que o comportamento reológico do concreto é similar à de um fluido binghamiano, caracterizado pela viscosidade plástica e a tensão de escoamento.

A autora Avelino (2011) aponta a trabalhabilidade, consistência, coesão e a exsudação como as principais características do concreto fresco. A consistência permite a moldagem e manuseio de variadas formas, de forma geral está ligada com a coesão e com o escoamento do concreto, enquanto a trabalhabilidade é relacionada a compatibilidade da consistência com o lançamento e adensamento do concreto (BRAUN, 2015).

A consistência é determinada pelo ensaio de abatimento normatizado pela NBR NM 67/1998, onde o abatimento mínimo considerado deve ser de 10mm (ABNT NBR 8953/2015). A tabela 11 mostra os parâmetros de valores do abatimento para cada classe de consistência.

**Tabela 11** – Classes de consistência.

Classe	Abatimento mm	Aplicações típicas
S10	$10 \leq A < 50$	Concreto extrusado, vibroprensado ou centrifugado
S50	$50 \leq A < 100$	Alguns tipos de pavimentos e de elementos de fundações
S100	$100 \leq A < 160$	Elementos estruturais, com lançamento convencional do concreto
S160	$160 \leq A < 220$	Elementos estruturais com lançamento bombeado do concreto
S220	$\geq 220$	Elementos estruturais esbeltos ou com alta densidade de armaduras

NOTA 1 De comum acordo entre as partes, podem ser criadas classes especiais de consistência, explicitando a respectiva faixa de variação do abatimento

NOTA 2 Os exemplos desta Tabela são ilustrativos e não abrangem todos os tipos de aplicações

Fonte: ABNT, 2015

## 2.4 PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO

### 2.4.1 Cura

A cura do concreto tem como função impedir a evaporação da água para que ocorra a hidratação do cimento. Esse processo ajuda a manter o concreto saturado até que o espaço ocupado pela água seja totalmente ocupado pelo produto resultante da hidratação. Escolher o tipo de cura mais adequado para a estrutura é fundamental para o bom desempenho do concreto, sabendo que ela é responsável pela redução da porosidade, automaticamente aumentando a durabilidade da estrutura (CARNIN et al, 2010).

### 2.4.2 Resistencia a Compressão

A resistência a compressão é a propriedade do concreto que indica a carga máxima que pode ser aplicada na estrutura. No geral é utilizada para a obtenção do traço de concreto e controle das cargas solicitantes em cada peça estrutural. Essa propriedade é variável de acordo com os tipos de materiais, procedimentos de cura e o ensaio realizado (CASTRO, 2009).

O modelo de ensaio da resistência a compressão do concreto é padronizado pela NBR 5739 (ABNT, 2018), a qual determina as dimensões, o formato geométrico e o material dos moldes de corpo de prova, o adensamento e a cura do concreto e o procedimento de moldagem.

Depois da concretagem, o concreto pode apresentar resistência inferior à esperada, de acordo como Helene (2011) isso pode ocorrer por diversos motivos dentre eles podemos citar: segregação, exsudação, adensamento e cura, micro fissuração, etc.

## 2.5 SISTEMA ESTRUTURAL DAS PEÇAS DE CONCRETO ARMADO

Nas construções em que é utilizado o concreto armado, as principais peças estruturais comuns são as lajes, vigas e pilares. Cada uma dessas peças apresenta



diferentes particularidades em seus cálculos de dimensionamento, em razão dos esforços aos quais estão submetidas são diferentes com exceção das vigas e das lajes. Entretanto apresentam algumas partes em comum como por exemplo, ambas devem ser dimensionadas observando os esforços no Estado Limite Último (E.L.U) e no Estado Limite de Serviço (E.L.S) (GIONGO, 2007).

### **2.5.1 Vigas**

As vigas são elementos estruturais lineares e apresentam duas dimensões de mesma proporção (largura e altura) e uma terceira dimensão bem superior as demais (comprimento). Este tipo de estrutura tem a função de apoiar as lajes e paredes, receber os esforços atuantes e distribuir para os pilares. Ainda são responsáveis pela estabilidade dos pórticos, uma vez que servem como travamentos para a parte superior dos pilares (ALBUQUERQUE, 2013; CAMPOS FILHO, 2014).

De acordo com Borges (2010) apud Cardoso (2016), as vigas são classificadas em três tipos: isoladas, são aquelas que estão apoiadas nas extremidades e possuem apenas um vão; contínuas, são sustentadas por vários três apoios ou mais e possuem ao menos dois vãos; vigas em balanço que são sustentadas somente por um engaste em uma das extremidades e a outra livre.

### **2.5.2 Pilar**

Assim como as vigas, os pilares também são classificados como peças lineares. Essas peças estruturais são responsáveis por receber todas as cargas atuantes na estrutura e transmitir estes esforços para a fundação (SANTIAGO E BECK, 2011).

De acordo com o autor Araújo (2010), apesar de serem considerados peças lineares em relação as suas dimensões, os pilares não possuem comportamento físico linear. Isso acontece devido a relação tensão e deformação da peça não trabalharem de forma igual (equivalente).

Para a análise e dimensionamento de um pilar é preciso analisar os esforços atuantes incluindo os de segunda ordem e aqueles causados pela fluência do concreto. Para esta avaliação, é utilizada a relação quanto a esbeltez da peça em qual é classificado

em curto, medianamente esbeltos e esbeltos. Os pilares curtos são aqueles cujo o índice de esbeltez é menor que 35, neles os efeitos de segunda ordem podem ser desconsiderados; Nos medianamente esbeltos devem ser considerados os efeitos de segunda ordem e fluência do concreto, podendo ser calculados pelo método simplificado; Para dimensionamento dos pilares esbeltos, considera-se todos os esforços e utiliza-se o processo numérico rigoroso (ARAÚJO, 2010).

### 3 CARBETO DE SILÍCIO

Descoberto pelo químico Berzelius em 1810 e industrializado pela primeira vez por Acheson em 1893 na tentativa de produzir diamante artificial, o Carbetto de Silício é reconhecido como um material cerâmico de grande importância por possuir diversas combinações de propriedades, tais como, alta resistência a oxidação, resistência a abrasão, inerte químico, boa resistência a variação de temperaturas, dentre outras, o que torna um material resistente e aplicável a diferentes áreas (IZHEVSKYI, et al, 2000).

Braga (2011) *apud* Silva (2018) relata que existem quatro métodos diferentes de se obter o carbetto de silício, dentre eles os três principais ocorrem por decomposição química por vaporização, carbonização direta ou método sol-gel. Estes são os principais meios de obter o material de maior pureza. O autor ainda destaca que o quartzo é o material mais utilizado como fonte sílica.

O método que Acheson utilizou para obter o primeiro SiC industrializado consiste em colocar no forno elétrico uma fonte sílica, carbono e outros componentes ( $B_4C$ ,  $Al_4C$ ) que reagem entre si a uma elevada temperatura (aproximadamente  $2700\text{ }^\circ\text{C}$ ) e é resfriada aos poucos. A energia fornecida para a síntese da reação advém de um núcleo de grafite e coque (MARINS, 2008; SANTOS et al, 2008).

De acordo com Sabino (2007), existem três processos diferentes para a obtenção do Carbetto de Silício, sendo eles: Prensagem a quente; Sinterização e Reação a quente. A prensagem uniaxial a quente tem como principal característica a redução da camada vidro que envolve os grãos de SiC mantendo a mesma densidade. Este método permite que a sinterização ocorra a uma temperatura mais baixa que os demais (DE CARVALHO et al, 1999).

A sinterização é realizada em altas temperaturas, podendo ser classificada em síntese de fase líquida ou sólida. Quando a sinterização ocorre abaixo do ponto de fusão de um dos materiais é considerada fase sólida, e quando ocorre a formação de líquido proveniente de um composto de menor ponto de fusão é considerada fase líquida (RIBEIRO; KELLY; STRECKER, 2001).

O SiC obtido pela sinterização da fase líquida dispõe de melhor tenacidade a fratura proporcionada pelo controle da microestrutura. Este tipo de sinterização contribui para o melhor desempenho das propriedades mecânicas, ocasionadas pela fase amorfa desenvolvida entre os grãos do Carbetto de Silício (SANTOS et al, 2008).

Por apresentar excelentes propriedades, o SiC a cada dia que vem ganhando mais espaço em diversas áreas, tais como, setor balístico (blindagem), reatores nucleares, espelhos dos satélites, dentre outros. A utilização do Carbetto de Silício nessas áreas reduz o peso, eleva a resistência a altas temperaturas das peças utilizadas em cada área (LIU; et al, 2015).

## **4 MATERIAIS E MÉTODOS**

O estudo está dividido em duas partes. A primeira consiste em estudos bibliográficos, sendo este de grande valia para análise. Essa análise foi mediada por periódicos, livros, teses e artigos, destacando as pesquisas já realizadas sobre o tema, compondo assim, parte dos dados fornecido para o desenvolvimento de todo o documento em questão.

Já a segunda parte do projeto consiste em um estudo de caso com a mistura do concreto em diferentes proporções de materiais. Os testes foram realizados em laboratório por meio de ensaios de compressão axial em corpos de prova cilíndricos com diferentes proporções de agregados graúdos. O ensaio seguiu as normas estipuladas pela NBR 5739/2018. Esse estudo possibilitou estimar a resistência do concreto após o período de cura.

### **4.1 MATERIAIS**

#### **4.1.1 Aglomerante**

Foi utilizado como material aglomerante o Cimento CP II-Z 32 da marca Votorantim, que possui características físicas e mecânicas da NBR 16697/2018 já especificadas no item 2.1.2.1 deste trabalho.

#### **4.1.2 Agregado Miúdo**

Utilizou-se como agregado miúdo a areia grossa dragada de córregos da região do Faina – GO que possui granulometria e propriedades químicas em acordo com a NBR 7211/2009, especificadas no item 2.1.1.1 deste trabalho.

### 4.1.3 Agregado Graúdo

Como agregado graúdo foram utilizados a brita zero advinda de britadeira da região de Goianésia – GO e o dois tipos de Carbetto de Silício –SiC Cristal que possui teor de carbono inferior a 0,5% e o SiC Metal que possui teor de carbono acima de 0,5% - fornecidos pela empresa Saint-Gobain unidade de Barbacena – MG que atendem aos requisitos da NBR 7211/2009, revisados no item 2.1.1.2 deste trabalho.

### 4.1.4 Água

A água utilizada foi a água potável distribuída pela SANEAGO (empresa responsável pelo abastecimento da cidade de Ánapolis).

### 4.1.5 Outros Materiais

- Betoneira da marca CSM de 400 litros;
- Balança de precisão;
- Moldes de corpos de provas de aço cilíndricos de 10cm de diâmetro por 20cm de altura;
- Haste de adensamento de aço de 16mm de diâmetro e 70cm de comprimento, com pontas no formato esférico;
- Molde de aço em formato de um cone (slump cone), tendo diâmetro da base inferior igual a 20cm e da base superior igual a 10cm e altura de 30cm;
- Prensa hidráulica DENISON T.I.A / MC (29858).
- Colher de pedreiro;
- Desempenadeira;
- Óleo desmoldante;

## 4.2 ENSAIO GRANULOMÉTRICO

A granulometria de um agregado é definida através do ensaio granulométrico normatizado pela NBR NM 248/2003. Para a realização dos ensaios, foram utilizados os seguintes materiais:

- a) Jogo de peneiras de tela metálica com aberturas de 0,15mm, 0,30mm, 0,60mm, 1,18mm, 2,36mm, 4,75mm, 6,3mm, 9,50mm e 12,5mm, tampa e fundo;
- b) Agregado miúdo: areia grossa;
- c) Agregado graúdo: brita 0 e Carbetto de Silício Cristal e Metalúrgico;
- d) Balança de alta precisão;
- e) Um recipiente de cobre em formato circular com alças;
- f) 1 pincel de 3” cerdas pretas;
- g) Concha Metálica;
- h) Mesa vibratória.

### 4.2.1 Procedimento

Primeiro passo do ensaio foi realizar a tara da balança com o recipiente de cobre sendo o peso referência, e em seguida adicionou a primeira amostra seca ( $m_1$ ) dentro do recipiente com o auxílio da concha metálica e pesou, afim de obter o peso da amostra. Em seguida o material foi despejado no jogo de peneiras já amontados de forma crescente da base ao topo. Em sequência, o jogo de peneiras foi agitado durante 60 segundos utilizando a mesa vibratória. Após o procedimento de agitação, foi pesado separadamente a quantidade de agregado que ficou retida em cada peneira – durante este procedimento é indispensável que todo o material retido seja pesado, sendo necessário coletar até o pó da areia que fica na lateral das peneiras; assim como, quando for descartar o material do recipiente para verificar a massa retida em outra peneira, também é necessário retirar todo o pó utilizando o pincel; estes passos contribuem para um resultado mais preciso do ensaio.

Depois de ter pesado todo o material retido em cada peneira, repetiu-se o procedimento para a segunda amostra do mesmo agregado ( $m_2$ ).

Com todos os dados já coletados, é possível montar a tabela contendo os seguintes dados:

- Abertura da peneira;
- Massa retida em cada peneira;
- Massa total;
- Porcentagem retida em cada peneira, encontrada através da divisão da massa retida pela massa total multiplicada por 100;
- Porcentagem média retida, encontrada pela soma das porcentagem médias retidas na peneira de mesma abertura para as duas amostras;
- Porcentagem média acumulada, consiste na soma da porcentagem média retida da peneira que está sendo calculada + a porcentagem média acumulada anterior;
- DMC (Dimensão máxima característica);
- MF (Módulo de finura) do agregado;

#### 4.3 DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA

##### 4.3.1 Materiais Utilizados

Para a realização do ensaio, foram utilizados os seguintes materiais:

- a) Recipiente com volume de  $1\text{dm}^3$ ;
- b) Copo de medição com capacidade de 2 litros;
- c) Balança de precisão;
- d) Haste de adensamento;
- e) Agregados graúdos: brita zero e carbetto de silício;
- f) Agregado miúdo: areia grossa;

##### 4.3.2 Procedimento

O ensaio foi realizado em duas partes para cada tipo de amostra, sendo a primeira executada com os grãos da amostra soltos e a segunda parte com o os grão compactados.



#### 4.3.2.1 Ensaio Para Grãos Soltos

- 1) Primeiramente realizou-se a tara da balança com o peso referência do recipiente de volume igual a 1dm<sup>3</sup>;
- 2) Em seguida encheu o recipiente com uma das amostras, deixando nivelado com a borda superior, a fim de se ter exatamente 1dm<sup>3</sup> da amostra - considerado como volume aparente (Va);
- 3) Logo após, efetuou a pesagem do material – obtendo o valor da massa do agregado (m);
- 4) Depois encheu-se o copo de medição com um litro de água e adicionar o agregado dentro do copo e após um tempo de 2 minutos, o volume que a água subir é o valor do volume real (Vr);
- 5) Por último, encontrou-se valor da massa unitária “d” e a massa específica “ρ”
  - A massa unitária é encontrada pela seguinte formula:

$$d = \frac{m}{V_a} \quad \text{Eq. (7)}$$

d: Massa unitária (kg/dm<sup>3</sup>);

m: Massa do agregado (kg);

Va: Volume aparente (dm<sup>3</sup>);

- A massa específica é calculada utilizando a equação abaixo:

$$\rho = \frac{m}{V_r} \quad \text{Eq. (8)}$$

ρ: Massa específica (kg/dm<sup>3</sup>);

m: Massa do agregado (kg);

Vr: Volume real (dm<sup>3</sup>);

#### 4.3.2.2 Ensaio Dos Grãos Compactados

A determinação da massa específica para os grãos compactados, segue quase o mesmo procedimento que o de grãos soltos, com exceção apenas no segundo passo. No ensaio de grãos compactados, deve-se encher um terço do recipiente com o agregado, aplicar 25 golpes com a haste de adensamento, adicionar mais um terço e novamente

realizar o adensamento e depois encher o recipiente completamente e aplicar mais 25 golpes. Caso o agregado não esteja nivelado com a borda do recipiente, adicione a quantidade suficiente para nivelá-los – não é necessário adensar novamente.

#### 4.4 TRAÇO DO CONCRETO

O traço do concreto foi calculado utilizando o método ABCP apresentado no item 2.2.1.1 deste trabalho, onde o cimento encontrado é dado em massa, a água em volume e os agregados em massa combinada com volume, seguindo as especificações abaixo.

##### **a) Relação água/cimento:**

Para a obtenção da relação água/cimento, considerou-se uma resistência de projeto ( $F_{ck}$ ) igual a 25MPa e classe de agressividade ambiental moderada (Classe II), no qual a relação destes materiais não pode ser superior a 0,60.

##### **b) Consumo de água**

Como parâmetro para determinar o consumo de água foi considerado abatimento maior ou igual a 80mm e menor de 100mm e diâmetro do agregado graúdo. Após ter estes valores é possível obter a quantidade de água de acordo com o especificado no item 2.2.1.1.1.

##### **c) Consumo de cimento**

A quantidade de cimento é calculada através da equação 2 na seção 2.2.1.1.2.

##### **d) Consumo de agregado graúdo**

A quantidade de agregado graúdo necessária é encontrada na tabela 11, tendo como referência o diâmetro máximo do mesmo e o módulo de finura do agregado graúdo, em seguida utiliza-se a equação 3 (seção 2.2.1.1.3) para transformar a unidade de medida em massa combinada com volume.

O valor encontrado foi dividido entre a brita e o carbetto de silício nas proporções apresentadas na tabela 12.

**Tabela 12** – Porcentagens de agregado graúdo.

Traço	Brita (%)	Carbeto de Silício (%)
1°	100	-
2°	75	25
3°	50	50
4°	25	75
5°	-	100

Fonte: O autor

No total foram feitos 55 corpos de provas, sendo 20 utilizando carbeto de silício metalúrgico, 28 contendo carbeto de silício cristal como agregado e 7 corpos de provas contendo apenas brita como agregado graúdo.

#### e) Consumo de agregado miúdo

O volume de agregado miúdo é determinado pela equação 4 e em seguida é utilizada a equação 5 (ambas presente na seção 2.2.1.1.4), obtendo o valor em massa combinada com volume.

#### f) Apresentação do traço

O traço será apresentado baseado na equação 6 (seção 2.2.1.2), com acréscimo de mais um valor para agregado graúdo, exemplificado na equação 7.

$$\frac{C_c}{C_c} : \frac{C_b}{C_c} : \frac{C_s}{C_c} : \frac{C_m}{C_c} : \frac{C_a}{C_c} \quad \text{Eq. (7)}$$

Cc: Consumo de cimento

Cb: Consumo de brita

Cs: Consumo de carbeto de silício

Cm: Consumo de areia

Ca: Consumo de água

Devido aos valores encontrados serem referentes para o traço de 1m<sup>3</sup> de concreto, a quantidade de cada material será corrigida de acordo com volume necessário para preencher os corpos de prova e realizar o teste de consistência, acrescido 10%, para prevenir de eventuais acidentes que podem ocorrer.

#### 4.5 CONCRETAGEM

A rodagem do concreto foi baseada na metodologia adotada por Ambrozewicz (2012), a qual consistiu em:

**1º Passo:** Colocou-se aproximadamente 12 litros de água na betoneira e em seguida ligou-a, deixar rodando por um minuto e depois desliga-la. Este passo tem como principal função remover resíduos restantes de outros concretos dentro da betoneira. Deverá ser repetido antes do início da rodagem de cada traço;

**2º Passo:** Ligou a betoneira, adicionou-se metade da água e deixou bater por 30 segundos;

**3º Passo:** Em seguida, adicionou-se metade do agregado graúdo e bateu a mistura por 45 segundos. Observação: adicionou metade da brita e metade do carvão de silício calculado para o traço em questão;

**4º Passo:** Adicionou toda a areia e deixou-se a betoneira misturando por mais 45 segundos;

**5º Passo:** Adicionou todo o cimento e bateu por mais 30 segundos;

**6º Passo:** Adicionou-se o restante do agregado graúdo e da água, e rodou o concreto por mais 1 minuto e 30 segundos. Após este tempo, desligar a betoneira.

#### 4.6 ENSAIO DO TRONCO DE CONE

Assim que concluída a rodagem do concreto, deverá ser realizado o teste de consistência da mistura que para este estudo em questão será o slump-test. O teste de consistência foi executado de acordo com a NBR NM 67 (ABNT, 1998), seguindo os passos abaixo:

**1º Passo:** Umedeceu o molde em formato de cone e a placa que serve de apoio para o mesmo;

**2º Passo:** Com o auxílio de uma colher, encheu-se aproximadamente  $\frac{1}{3}$  do slump cone de concreto e dar 25 golpes distribuídos uniformemente utilizando a haste de adensamento, nessa primeira camada 13 golpes, efetuados em forma de espiral com a haste inclinada.

**3º Passo:** Encheu-se mais  $\frac{1}{3}$  do molde com concreto e aplicou-se mais 25 golpes de maneira uniforme ao longo de todo o molde;

**4º Passo:** Adicionou-se mais concreto até encher totalmente o molde e em seguida golpeou por mais 25 vezes. Caso o concreto fique abaixo da borda do molde após o adensamento, adicionar mais concreto e nivelar com a borda utilizando uma desempenadeira.

**5º Passo:** Realizou-se a retirada do molde com cuidado evitando que o concreto seja abalado e em seguida mediu-se a diferença da altura entre o molde e o concreto. Essa diferença é o valor do abatimento;

Considerações: Este ensaio deve ser realizado em um prazo de 150 segundo. Sempre que for golpear (adensar) o concreto, o molde tem que ser firmado com os pés em suas abas laterais.

Caso o abatimento seja inferior ao esperado, poderá ser feita a correção da quantidade água presente na mistura, entretanto deve adicionar cimento na mesma proporção em relação ao fator água/cimento.

#### 4.7 MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA

A moldagem do corpo de prova cilíndrico será realizada em acordo com a NBR 5738/2015.

1º Passo: Passar o óleo desmoldante nos corpos de prova cilíndricos;

2º Passo: Encher a metade do corpo de prova e realizar o adensamento utilizando a haste de adensamento aplicando 12 golpes de maneira uniforme;

3º Passo: Encher o restante do molde com concreto e aplicar mais 12 golpes utilizando a haste de adensamento, em seguida nivelar o concreto e a superfície do molde com o auxílio de uma desempenadeira;

4º Passo: Após 24 horas os corpos de prova podem ser retirados dos moldes.

#### 4.8 CURA DOS CORPOS DE PROVA

A primeira parte da cura acontece ainda nas primeiras 24 horas enquanto o corpo de prova ainda está dentro do molde. Após serem retirados dos moldes, leva-los para uma câmara úmida onde permanecerão por 27 dias, com temperatura entre 21 e 25°C com umidade do ar superior a 95%.

#### 4.9 ENSAIO DE COMPRESSÃO

O ensaio a compressão será realizado em 7, 14 e 28 dias após a rodagem do concreto, utilizando uma presa hidráulica. O corpo de prova deve estar com as bases niveladas para que a força seja aplicada de maneira uniforme; o eixo dos pratos da prensa deve coincidir com o eixo do corpo de prova no momento de aplicação da força.

A prensa será regulada para aplicar forças contínuas que aumentem 0,45 MPa até que ocorra o rompimento do corpo de prova. Após o rompimento, será feita a média dos valores entre os corpos de prova de cada traço de concreto para obter uma resistência média.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 ENSAIO GRANULOMETRICO

As tabelas e os gráficos abaixo apresentam os resultados do ensaio granulométrico dos agregados, realizados conforme a NBR NM 248/2003.

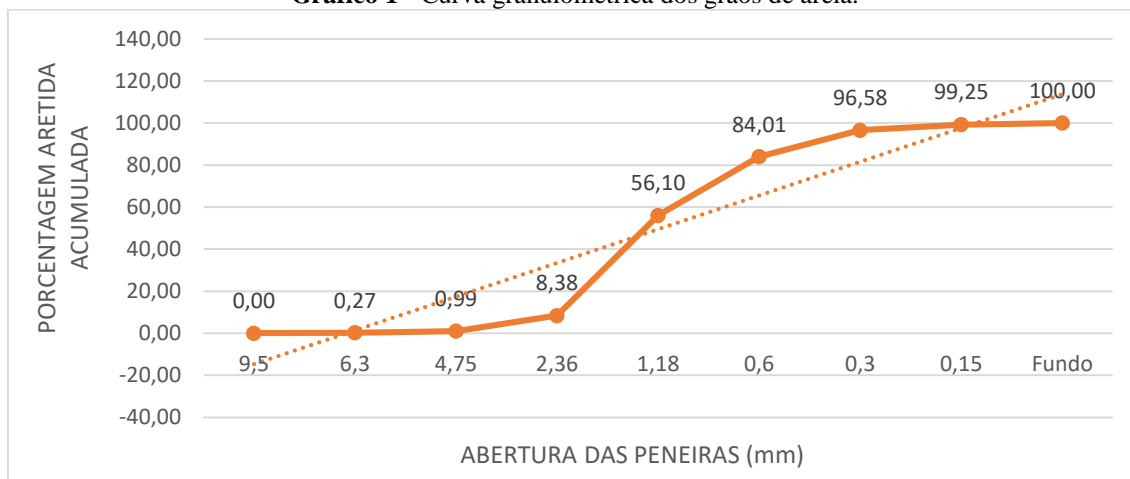
**Tabela 13** - Determinação da granulometria da areia.

Peneiras	Abertura (mm)	PRIMEIRA AMOSTRA		SEGUNDA AMOSTRA		Porcentagem média retida (%)	Porcentagem média retida acumulada (%)
		Massa retida (g)	% retida	Massa retida (g)	(%) retida		
1	9,5	-	-	-	-	-	0,00
2	6,3	2,57	0,26	2,88	0,29	0,27	0,27
3	4,75	5,6	0,56	8,83	0,88	0,72	0,99
4	2,36	73,36	7,33	74,41	7,44	7,39	8,38
5	1,18	389,31	38,92	565,45	56,52	47,72	56,10
6	0,6	335,61	33,55	222,84	22,27	27,91	84,01
7	0,3	156,56	15,65	94,83	9,48	12,57	96,58
8	0,15	29,45	2,94	24,02	2,40	2,67	99,25
Fundo	-	7,74	0,77	7,24	0,72	0,75	100,00
<b>TOTAL</b>		<b>1000,2</b>	<b>100</b>	<b>1000,5</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>445,59</b>
<b>DMC = 4,75mm</b>						<b>MF = 3,46</b>	

Fonte: O autor, 2019.

A tabela 13 demonstra o resultado do ensaio granulométrico do agregado miúdo (areia). A primeira coluna é enumerada de acordo com a posição das peneiras intercaladas da maior para menor, de cima para baixo. Na segunda coluna apresenta a abertura das peneiras usadas. A terceira e quarta apresentam a massa e porcentagem retida da primeira amostra, assim como a quinta e sexta os resultados da segunda amostra utilizada. Posteriormente, foi realizada a média das massas retidas e calculadas as respectivas porcentagens. Por fim, foi determinado o diâmetro máximo considerando a porcentagem média retida mais próxima de 5%, desde que inferior a mesma, e o módulo de finura a partir da soma das porcentagens retidas acumuladas, desconsiderando a porcentagem de fundo, dividindo-se o resultado por 100.

O Gráfico 1 demonstra a relação da porcentagem retida acumulada e a abertura das peneiras (mm), resultando assim na curva granulométrica dos grãos de areia.

**Gráfico 1** - Curva granulométrica dos grãos de areia.

Fonte: O autor, 2019.

A tabela 14 demonstra o resultado do ensaio granulométrico do agregado graúdo (brita), assim como foi exemplificado na tabela 13.

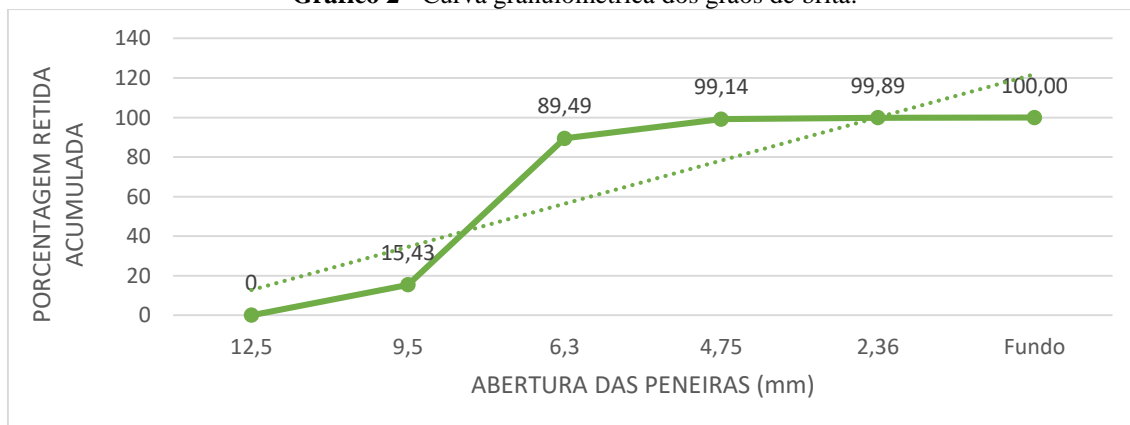
**Tabela 14** - Determinação da granulometria da brita.

Peneiras	Abertura (mm)	PRIMEIRA AMOSTRA		SEGUNDA AMOSTRA		Porcentagem média retida (%)	Porcentagem retida acumulada (%)
		Massa retida (g)	Porcentagem retida (%)	Massa retida (g)	Porcentagem retida (%)		
1	12,5	0	0	0	0	0	0
2	9,5	159,89	15,99	148,68	14,87	15,43	15,43
3	6,3	753,53	75,34	727,88	72,78	74,06	89,49
4	4,75	79,24	7,92	113,76	11,37	9,65	99,14
5	2,36	6,7	0,67	8,3	0,83	0,75	99,89
-	Fundo	0,76	0,08	1,49	0,15	0,11	100,00
-	TOTAL	1000,12	100	1000,11	100	100	403,94

**DMC = 9,5mm** **MF = 3,04**

Fonte: O autor, 2019.

O Gráfico 2 demonstra a relação da porcentagem retida acumulada e a abertura das peneiras (mm), resultando assim na curva granulométrica dos grãos de brita.

**Gráfico 2** - Curva granulométrica dos grãos de brita.

Fonte: O autor, 2019.



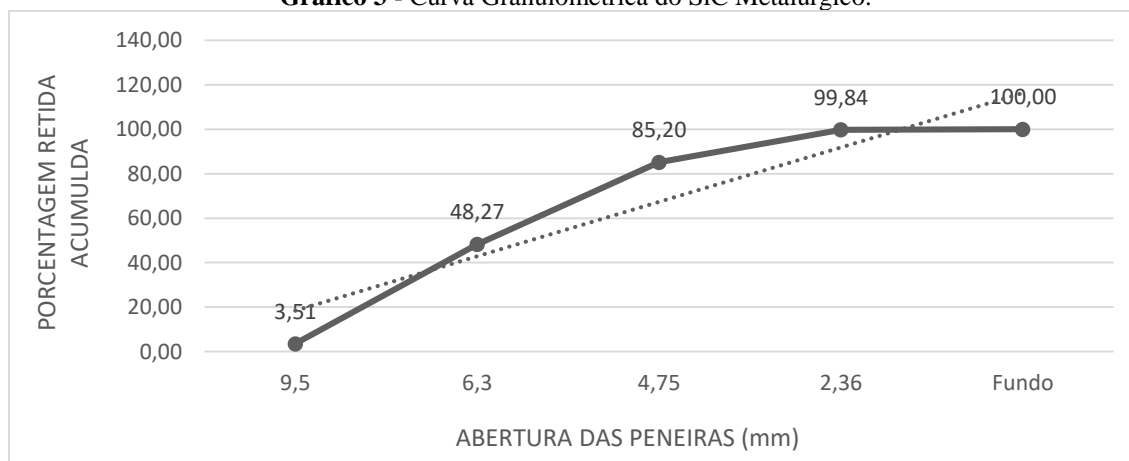
A tabela 15 e o gráfico 3 demonstram o resultado do ensaio granulométrico do agregado graúdo (brita), o qual a didática utilizada para encontrar estes resultados segue o mesmo padrão como foi exemplificado na tabela 13.

**Tabela 15** – Determinação da granulometria do Carbetto de Silício Metalúrgico.

Peneiras	Abertura (mm)	PRIMEIRA AMOSTRA		SEGUNDA AMOSTRA		Porcentagem média retida (%)	Porcentagem retida acumulada (%)
		Massa retida (g)	Porcentagem m retida (%)	Massa retida (g)	Porcentagem retida (%)		
1	9,5	35,62	3,56	34,49	3,45	3,51	3,51
2	6,3	403,64	40,36	491,72	49,17	44,76	48,27
3	4,75	385,22	38,52	353,44	35,34	36,93	85,20
4	2,36	173,96	17,39	118,87	11,89	14,64	99,84
-	<b>Fundo</b>	1,67	0,17	1,6	0,16	0,16	100,00
-	<b>TOTAL</b>	<b>1000,11</b>	<b>100</b>	<b>1000,12</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>333,30</b>
		<b>DMC = 9,5mm</b>		<b>MF = 2,33</b>			

Fonte: O autor, 2019.

**Gráfico 3** - Curva Granulometrica do SiC Metalúrgico.



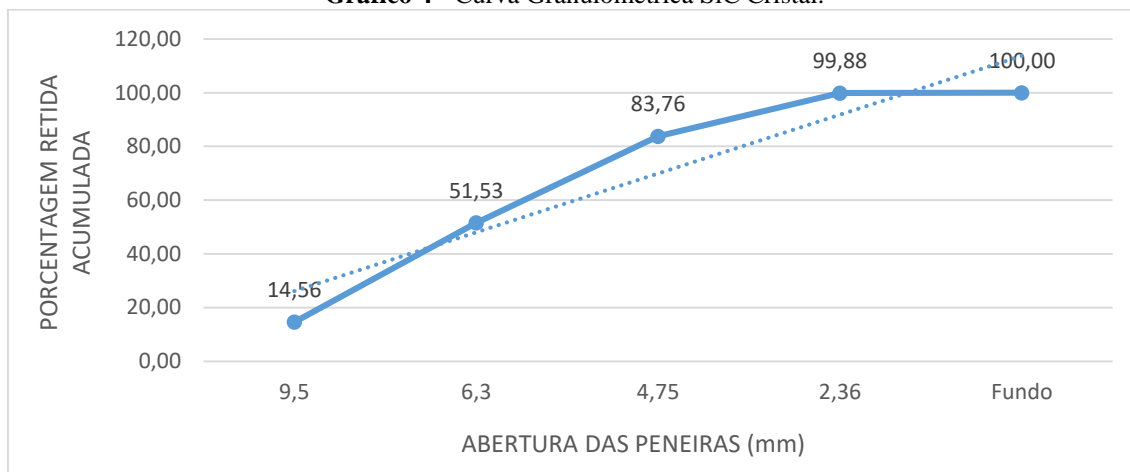
Fonte: O autor, 2019.

A tabela 16 e o gráfico 4 demonstram o resultado do ensaio granulométrico do agregado graúdo (brita), o qual a didática utilizada para encontrar estes resultados segue o mesmo padrão como foi exemplificado na tabela 13.

**Tabela 16** - Determinação da granulometria do Carbetto de Silício Cristal.

Peneiras	Abertura (mm)	PRIMEIRA AMOSTRA		SEGUNDA AMOSTRA		Porcentagem média retida (%)	Porcentagem retida acumulada (%)
		Massa retida (g)	Porcentagem retida (%)	Massa retida (g)	Porcentagem retida (%)		
1	9,5	97,12	9,71	194,11	19,41	14,56	14,56
2	6,3	359,42	35,94	380,05	38,00	36,97	51,53
3	4,75	351,06	35,10	293,47	29,35	32,22	83,76
4	2,36	191,03	19,10	131,39	13,14	16,12	99,88
-	<b>Fundo</b>	1,48	0,15	1,02	0,10	0,12	100,00
-	<b>TOTAL</b>	<b>1000,11</b>	<b>100</b>	<b>1000,04</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>335,16</b>
		<b>DMC = 9,5mm</b>		<b>MF = 2,35</b>			

Fonte: O autor, 2019.

**Gráfico 4 - Curva Granulométrica SiC Cristal.**

Fonte: O autor, 2019.

## 5.2 MASSA ESPECÍFICA

No ensaio para determinar a massa unitária e a massa específica dos materiais, foram obtidos os resultados apresentados nas tabelas abaixo.

**Tabela 17 - Massa específica dos grãos soltos.**

Material	Massa (Kg)	Volume Aparente (dm <sup>3</sup> )	Massa Unitária (Kg/dm <sup>3</sup> )	Volume Real (dm <sup>3</sup> )	Massa Específica (Kg/dm <sup>3</sup> )
Areia	1,539	1,00	1,539	0,60	2,565
Brita	1,668	1,00	1,668	0,60	2,780
SiC Metalurgico	1,103	1,00	1,103	0,43	2,565
Sic Cristal	1,471	1,00	1,471	0,50	2,942

Fonte: O autor.

**Tabela 18 - Massa específica dos grãos compactados.**

Material	Massa (Kg)	Volume Aparente (dm <sup>3</sup> )	Massa Unitária (Kg/dm <sup>3</sup> )	Volume Real (dm <sup>3</sup> )	Massa Específica (Kg/dm <sup>3</sup> )
Areia	1,651	1,00	1,651	0,69	2,393
Brita	1,817	1,00	1,817	0,65	2,795
SiC Metalurgico	1,239	1,00	1,239	0,47	2,636
Sic Cristal	1,549	1,00	1,549	0,5	3,098

Fonte: O autor.

### 5.3 TRAÇO DO CONCRETO

Após ter o conhecimento de todos os dados anteriores, é possível calcular a quantidade de material que serão utilizados em cada traço de concreto, tendo como embasamento teórico o método ABCP.

#### a) Determinação da resistência do concreto a compressão aos 28 dias.

Com a resistência de projeto definida em 25Mpa e considerado um desvio padrão de 5,5 devido a configuração do traço, foi determinado o seguinte valor para a resistência do concreto aos 28 dias.

$$F_c = 25 + 1,65 \cdot 5,5$$

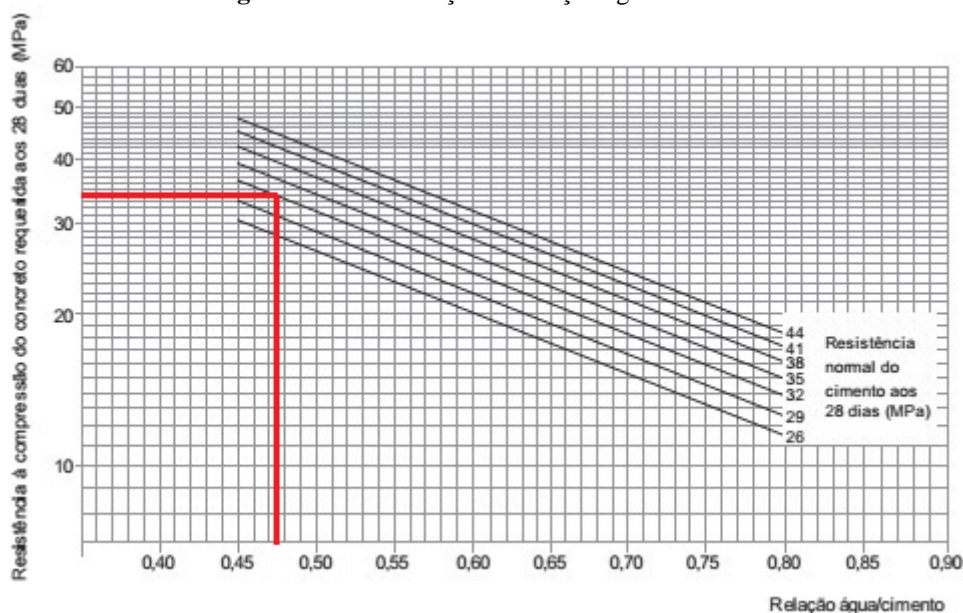
$$F_c = 34,08 \text{ MPa}$$

**Eq. (1)**

#### b) Determinação água cimento

Analisando a curva de Abrams para o cimento CII-F-32, a relação água/cimento encontrada foi de 0,475 como pode ser observado na figura abaixo.

**Figura 2 -** Determinação da relação água/cimento.



Fonte: Adaptado de Ambrozewicz, 2012.

#### c) Determinação do consumo de água

A quantidade de água obtida para um traço de 1m<sup>3</sup> de concreto, é de 230 L/m<sup>3</sup>, tendo como base a tabela 10 deste trabalho.

#### d) Determinação do consumo de cimento

A quantidade total de cimento para um traço de 1m<sup>3</sup> encontrada, foi de 484,21 Kg/m<sup>3</sup>. Abaixo é demonstrado o cálculo.

$$C_c = \frac{230}{0,475} \quad \text{Eq. (2)}$$

$$C_c = 484,21 \text{ Kg/m}^3$$

#### e) Determinação do consumo de agregado graúdo

Depois de encontrado o modulo de finura da areia no ensaio granulométrico, e analisando a tabela 11 apresentada anteriormente, determinou-se o fator de volume de agregado graúdo de 0,479 (valor interpolado). Este valor foi multiplicado pela porcentagem de cada agregado graúdo presente no traço, conforme exemplificado abaixo.

##### 1. Agregado 100% brita

Para os corpos de provas que continham somente a brita zero como agregado graúdo, foi utilizado como referência o traço para 1m<sup>3</sup> de concreto, obtendo 870,343Kg/m<sup>3</sup> de brita.

$$C_b = 0,479 \cdot 1 \cdot 1817$$

$$C_b = 870,343 \text{ Kg/m}^3 \quad \text{Eq. (3)}$$

##### 2. Agregado 75% brita e 25% Sic Metalúrgico

Para os corpos de provas que continham 75% de brita zero e 25% de Carbetto de Silício Metalúrgico como agregado graúdo, foi utilizado como referência o traço para 1m<sup>3</sup> de concreto, obtendo 652,76 Kg/m<sup>3</sup> de brita e 148,37 Kg/m<sup>3</sup> de SiC.

Consumo de Brita	Consumo de SiC - M
$C_b = 0,479 \cdot 0,75 \cdot 1817$	$C_s = 0,479 \cdot 0,25 \cdot 1239$
$C_b = 652,76 \text{ Kg/m}^3$	$C_s = 148,37 \text{ Kg/m}^3$

### 3. Agregado 75% brita e 25% Sic Cristal

Para os corpos de provas que continham 75% de brita zero e 25% de Carbetto de Silício Cristal como agregado graúdo, foi utilizado como referência o traço para 1m<sup>3</sup> de concreto, obtendo 652,76 Kg/m<sup>3</sup> de brita e 185,49 Kg/m<sup>3</sup> de SiC.

Consumo de Brita	Consumo de SiC - C
$C_b = 0,479 \cdot 0,75 \cdot 1817$	$C_s = 0,479 \cdot 0,25 \cdot 1549$
$C_b = 652,76 \text{ Kg/m}^3$	$C_s = 185,49 \text{ Kg/m}^3$

### 4. Agregado 50% brita e 50% Sic Metalúrgico

Para os corpos de provas que continham 50% de brita zero e 50% de Carbetto de Silício Metalúrgico como agregado graúdo, foi utilizado como referência o traço para 1m<sup>3</sup> de concreto, obtendo 435,17 Kg/m<sup>3</sup> de brita e 185,49 Kg/m<sup>3</sup> de SiC.

Consumo de Brita	Consumo de SiC - M
$C_b = 0,479 \cdot 0,5 \cdot 1817$	$C_s = 0,479 \cdot 0,5 \cdot 1239$
$C_b = 435,17 \text{ Kg/m}^3$	$C_s = 296,74 \text{ Kg/m}^3$

### 5. Agregado 50% brita e 50% Sic Cristal

Para os corpos de provas que continham 50% de brita zero e 50% de Carbetto de Silício Cristal como agregado graúdo, foi utilizado como referência o traço para 1m<sup>3</sup> de concreto, obtendo 435,17 Kg/m<sup>3</sup> de brita e 370,99 Kg/m<sup>3</sup> de SiC.

Consumo de Brita	Consumo de SiC - C
$C_b = 0,479 \cdot 0,5 \cdot 1817$	$C_s = 0,479 \cdot 0,5 \cdot 1549$
$C_b = 435,17 \text{ Kg/m}^3$	$C_s = 370,99 \text{ Kg/m}^3$

### 6. Agregado 25% brita e 75% Sic Metalúrgico

Para os corpos de provas que continham 25% de brita zero e 75% de Carbetto de Silício Metalúrgico como agregado graúdo, foi utilizado como referência o traço para 1m<sup>3</sup> de concreto, obtendo 217,59 Kg/m<sup>3</sup> de brita e 445,11 Kg/m<sup>3</sup> de SiC.

Consumo de Brita	Consumo de SiC - M
$C_b = 0,479 \cdot 0,25 \cdot 1817$	$C_s = 0,479 \cdot 0,75 \cdot 1239$
$C_b = 217,59 \text{ Kg/m}^3$	$C_s = 445,11 \text{ Kg/m}^3$

### 7. Agregado 25% brita e 75% Sic Cristal

Para os corpos de provas que continham 25% de brita zero e 75% de Carbetto de Silício Cristal como agregado graúdo, foi utilizado como referência o traço para  $1\text{m}^3$  de concreto, obtendo  $217,59 \text{ Kg/m}^3$  de brita e  $556,48 \text{ Kg/m}^3$  de SiC.

Consumo de Brita	Consumo de SiC - C
$C_b = 0,479 \cdot 0,25 \cdot 1817$	$C_s = 0,479 \cdot 0,75 \cdot 1549$
$C_b = 217,59\text{Kg/m}^3$	$C_s = 556,48 \text{ Kg/m}^3$

### 8. Agregado 100% Carbetto de Silício Metalúrgico

Para os corpos de provas que continham somente o carbetto de silício metalúrgico como agregado graúdo, foi utilizado como referência o traço para  $1\text{m}^3$  de concreto, obtendo  $593,48\text{Kg/m}^3$  SiC - M.

$$C_s = 0,479 \cdot 1 \cdot 1239$$

$$C_s = 593,48 \text{ Kg/m}^3$$

### 9. Agregado 100% Carbetto de Silício Cristal

Para os corpos de provas que continham somente o carbetto de silício cristal como agregado graúdo, foi utilizado como referência o traço para  $1\text{m}^3$  de concreto, obtendo  $741,97 \text{ Kg/m}^3$  de SiC - C.

$$C_s = 0,479 \cdot 1 \cdot 1549$$

$$C_s = 741,97 \text{ Kg/m}^3$$

### f) Determinação do consumo de areia

Devido a diferenciação de agregados graúdo no concreto, a quantidade de areia para cada traço também é variável. Abaixo são apresentados os cálculos de cada um deles.

**1. Agregado 100% brita**

$$V_m = 1 - \left( \frac{484,21}{3150} + \frac{870,343}{2780} + \frac{230}{1000} \right) \quad \text{Eq. (4)}$$

$$V_m = 0,304$$

Consumo total de areia para um metro cubico de concreto é de 779,76 Kg/m<sup>3</sup>, conforme apresentado na resolução.

$$C_m = 0,304 \cdot 2565 \quad \text{Eq. (5)}$$

$$C_m = 779,76 \text{ Kg/m}^3$$

**2. Agregado 75% brita e 25% Sic Metalúrgico**

$$V_m = 1 - \left( \frac{484,21}{3150} + \frac{652,76}{2780} + \frac{148,37}{2565} + \frac{230}{1000} \right)$$

$$V_m = 0,324$$

Consumo total de areia para um metro cubico de concreto é de 831,06 Kg/m<sup>3</sup>, conforme apresentado na resolução.

$$C_m = 0,324 \cdot 2565$$

$$C_m = 831,06 \text{ Kg/m}^3$$

**3. Agregado 75% brita e 25% Sic Cristal**

$$V_m = 1 - \left( \frac{484,21}{3150} + \frac{652,76}{2780} + \frac{185,49}{2942} + \frac{230}{1000} \right)$$

$$V_m = 0,319$$

Consumo total de areia para um metro cubico de concreto é de 818,24 Kg/m<sup>3</sup>, conforme apresentado na resolução.

$$C_m = 0,319 \cdot 2565$$

$$C_m = 818,24 \text{ Kg/m}^3$$

**4. Agregado 50% brita e 50% Sic Metalúrgico**

$$V_m = 1 - \left( \frac{484,21}{3150} + \frac{435,17}{2780} + \frac{296,74}{2565} + \frac{230}{1000} \right)$$

$$V_m = 0,344$$

Consumo total de areia para um metro cubico de concreto é de 882,36 Kg/m<sup>3</sup>, conforme apresentado na resolução.

$$C_m = 0,344 \cdot 2565$$

$$C_m = 882,36 \text{ Kg/m}^3$$

#### 5. Agregado 50% brita e 50% Sic Cristal

$$V_m = 1 - \left( \frac{484,21}{3150} + \frac{435,17}{2780} + \frac{370,99}{2942} + \frac{230}{1000} \right)$$

$$V_m = 0,334$$

Consumo total de areia para um metro cubico de concreto é de 856,71 Kg/m<sup>3</sup>, conforme apresentado na resolução.

$$C_m = 0,334 \cdot 2565$$

$$C_m = 856,71 \text{ Kg/m}^3$$

#### 6. Agregado 25% brita e 75% Sic Metalúrgico

$$V_m = 1 - \left( \frac{484,21}{3150} + \frac{217,59}{2780} + \frac{445,11}{2565} + \frac{230}{1000} \right)$$

$$V_m = 0,364$$

Consumo total de areia para um metro cubico de concreto é de 933,36 Kg/m<sup>3</sup>, conforme apresentado na resolução.

$$C_m = 0,364 \cdot 2565$$

$$C_m = 933,66 \text{ Kg/m}^3$$

#### 7. Agregado 25% brita e 75% Sic Cristal

$$V_m = 1 - \left( \frac{484,21}{3150} + \frac{217,59}{2780} + \frac{556,48}{2942} + \frac{230}{1000} \right)$$

$$V_m = 0,349$$

Consumo total de areia para um metro cubico de concreto é de 856,71 Kg/m<sup>3</sup>, conforme apresentado na resolução.

$$C_m = 0,349 \cdot 2565$$



$$C_m = 895,19 \text{ Kg/m}^3$$

### 8. Agregado 100% Carbetto de Silício Metalúrgico

$$V_m = 1 - \left( \frac{484,21}{3150} + \frac{593,48}{2565} + \frac{230}{1000} \right)$$

$$V_m = 0,385$$

Consumo total de areia para um metro cubico de concreto é de 933,36 Kg/m<sup>3</sup>, conforme apresentado na resolução.

$$C_m = 0,385 \cdot 2565$$

$$C_m = 987,53 \text{ Kg/m}^3$$

### 9. Agregado 100% Carbetto de Silício Cristal

$$V_m = 1 - \left( \frac{484,21}{3150} + \frac{741,97}{2942} + \frac{230}{1000} \right)$$

$$V_m = 0,364$$

Consumo total de areia para um metro cubico de concreto é de 856,71 Kg/m<sup>3</sup>, conforme apresentado na resolução.

$$C_m = 0,364 \cdot 2565$$

$$C_m = 933,66 \text{ Kg/m}^3$$

## 5.3.1 Apresentação Dos Traços

### 1. Traço com agregado 100% brita

$$\frac{484,21}{484,21} : \frac{870,343}{484,21} : \frac{0}{484,21} : \frac{779,76}{484,21} : \frac{230}{484,21}$$

$$1 : 1,797 : 0 : 1,610 : 0,475$$

### 2. Traço com agregado 75% brita e 25% SiC Metalúrgico

$$\frac{484,21}{484,21} : \frac{652,76}{484,21} : \frac{148,37}{484,21} : \frac{831,06}{484,21} : \frac{230}{484,21}$$

$$1 : 1,348 : 0,306 : 1,716 : 0,475$$

3. Traço com agregado 75% brita e 25% SiC Cristal

$$\frac{484,21}{484,21} : \frac{652,76}{484,21} : \frac{185,49}{484,21} : \frac{818,24}{484,21} : \frac{230}{484,21}$$

$$1 : 1,348 : 0,383 : 1,690 : 0,475$$

4. Traço com agregado 50% brita e 50% SiC Metalúrgico

$$\frac{484,21}{484,21} : \frac{435,17}{484,21} : \frac{296,74}{484,21} : \frac{882,36}{484,21} : \frac{230}{484,21}$$

$$1 : 0,899 : 0,613 : 1,822 : 0,475$$

5. Traço com agregado 50% brita e 50% SiC Cristal

$$\frac{484,21}{484,21} : \frac{435,17}{484,21} : \frac{370,99}{484,21} : \frac{856,71}{484,21} : \frac{230}{484,21}$$

$$1 : 0,899 : 0,766 : 1,769 : 0,475$$

6. Traço com agregado 25% brita e 75% SiC Metalúrgico

$$\frac{484,21}{484,21} : \frac{217,59}{484,21} : \frac{445,11}{484,21} : \frac{933,66}{484,21} : \frac{230}{484,21}$$

$$1 : 0,449 : 0,919 : 1,928 : 0,475$$

7. Traço com agregado 25% brita e 75% SiC Cristal

$$\frac{484,21}{484,21} : \frac{217,59}{484,21} : \frac{556,48}{484,21} : \frac{895,19}{484,21} : \frac{230}{484,21}$$

$$1 : 0,449 : 1,149 : 1,849 : 0,475$$

8. Traço com agregado 100% SiC Metalúrgico

$$\frac{484,21}{484,21} : \frac{0}{484,21} : \frac{593,48}{484,21} : \frac{987,53}{484,21} : \frac{230}{484,21}$$

$$1 : 0 : 1,226 : 2,039 : 0,475$$

## 9. Traço com agregado 100% SiC Cristal

$$\frac{484,21}{484,21} : \frac{0}{484,21} : \frac{741,97}{484,21} : \frac{933,66}{484,21} : \frac{230}{484,21}$$

$$1 : 0 : 1,532 : 1,928 : 0,475$$

Após realizar o slump teste, verificou-se que o abatimento estava inferior ao estipulado 8mm. Para corrigir este problema que pode ser oriundo dos materiais não estarem úmidos, foram adicionados mais 11,5% de água para aumentar a trabalhabilidade e conseqüentemente adicionou a mesma porcentagem de cimento, para evitar a perda de resistência a compressão. Deste modo, todos os traços passaram a ter 1,115Kg de cimento e 530ml de água.

## 5.4 ENSAIO COMPRESSÃO AXIAL

As tabelas a seguir apresentam os resultados obtidos nos ensaios à compressão axial, realizados no Laboratório de Ensaio de Materiais da Universidade de Brasília.

**Tabela 19** - Ensaio à compressão axial CP's utilizando SiC Metalúrgico.

TRAÇO	IDADE (dias)	CARGA DE RUPTURA (Tnf)	ÁREA CORPO DE PROVA (mm <sup>2</sup> )	TENSÃO DE RUPTURA (MPa)	TENSÃO MÉDIA (MPa)
100% SiC Metalúrgico	14	24,91	7854	31,11	<b>31,04</b>
100% SiC Metalúrgico	14	24,79	7854	30,96	
75% SiC Metalúrgico	14	22,87	7854	28,57	<b>28,97</b>
75% SiC Metalúrgico	14	23,51	7854	29,37	
50% SiC Metalúrgico	14	22,30	7854	27,85	<b>28,20</b>
50% SiC Metalúrgico	14	22,86	7854	28,55	
25% SiC Metalúrgico	14	17,69	7854	22,10	<b>22,15</b>
25% SiC Metalúrgico	14	17,77	7854	22,20	
Referência	14	21,33	7854	26,64	<b>24,92</b>
Referência	14	18,58	7854	23,21	
100% SiC Metalúrgico	28	40,26	7854	50,29	<b>50,14</b>
100% SiC Metalúrgico	28	39,05	7854	48,78	
100% SiC Metalúrgico	28	41,11	7854	51,35	<b>42,02</b>
75% SiC Metalúrgico	28	31,12	7854	38,87	
75% SiC Metalúrgico	28	35,95	7854	44,90	<b>42,02</b>
75% SiC Metalúrgico	28	33,86	7854	42,29	

50% SiC Metalurgico	28	31,07	7854	38,81	
50% SiC Metalurgico	28	30,48	7854	38,07	<b>38,34</b>
50% SiC Metalurgico	28	30,54	7854	38,15	
25% SiC Metalurgico	28	30,30	7854	37,85	
25% SiC Metalurgico	28	30,42	7854	38,00	<b>37,73</b>
25% SiC Metalurgico	28	29,91	7854	37,36	
Referência	28	24,91	7854	31,11	
Referência	28	24,54	7854	30,65	<b>30,97</b>
Referência	28	24,94	7854	31,15	

Fonte: O autor, 2019.

**Tabela 20** - Ensaio à compressão axial CP's utilizando SiC Cristal.

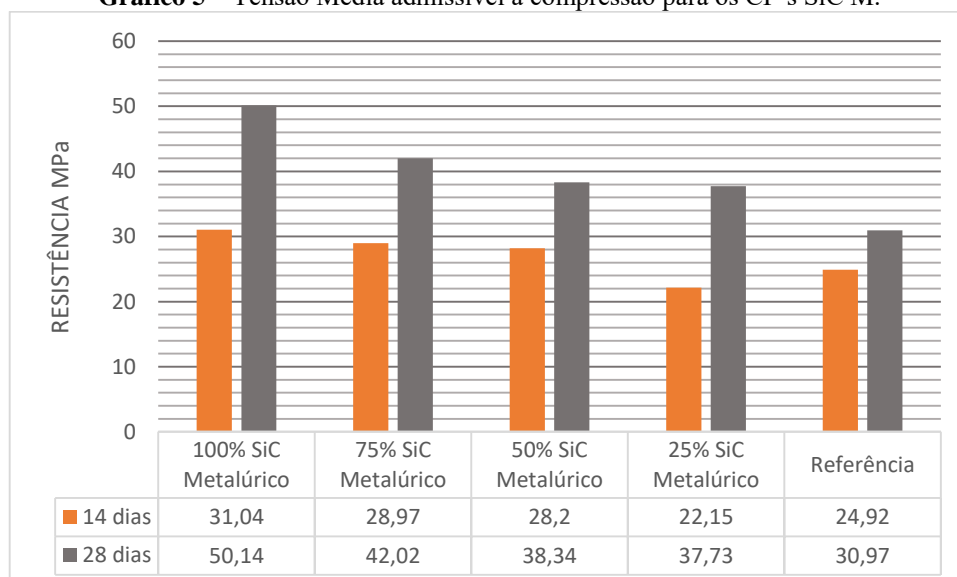
TRAÇO	IDADE (dias)	CARGA DE RUPTURA (Tnf)	ÁREA CORPO DE PROVA (mm <sup>2</sup> )	TENSÃO DE RUPTURA (MPa)	TENSÃO MÉDIA (MPa)
100% SiC Cristal	7	22,66	7854	28,30	<b>28,38</b>
100% SiC Cristal	7	22,79	7854	28,47	
75% SiC Cristal	7	21,75	7854	27,17	
75% SiC Cristal	7	22,37	7854	27,94	<b>27,55</b>
50% SiC Cristal	7	21,61	7854	26,99	
50% SiC Cristal	7	22,05	7854	27,54	<b>27,27</b>
25% Sic Cristal	7	21,42	7854	26,75	
25% Sic Cristal	7	22,36	7854	27,93	<b>27,34</b>
Referência	7	18,78	7854	23,46	
Referência	7	16,07	7854	20,07	<b>21,76</b>
100% SiC Cristal	14	28,09	7854	35,09	
100% SiC Cristal	14	29,93	7854	37,38	<b>36,23</b>
75% SiC Cristal	14	24,45	7854	30,54	
75% SiC Cristal	14	24,17	7854	30,19	<b>30,36</b>
50% SiC Cristal	14	23,66	7854	29,55	
50% SiC Cristal	14	24,06	7854	30,05	<b>29,80</b>
25% Sic Cristal	14	23,89	7854	29,84	
25% Sic Cristal	14	22,60	7854	28,23	<b>29,03</b>
Referência	14	21,33	7854	26,64	
Referência	14	18,58	7854	23,21	<b>24,92</b>
100% Sic Cristal	28	39,23	7854	49,00	
100% Sic Cristal	28	37,36	7854	46,66	<b>48,12</b>
100% Sic Cristal	28	38,99	7854	48,70	
75% Sic Cristal	28	36,95	7854	46,15	
75% Sic Cristal	28	35,40	7854	44,22	<b>45,47</b>
75% Sic Cristal	28	36,85	7854	46,03	
50% Sic Cristal	28	33,99	7854	42,46	
50% Sic Cristal	28	33,06	7854	41,29	<b>41,34</b>

50% Sic Cristal	28	32,25	7854	40,28	
25% Sic Cristal	28	30,09	7854	37,58	
25% Sic Cristal	28	31,41	7854	39,23	<b>38,95</b>
25% Sic Cristal	28	32,04	7854	40,02	
Referência	28	24,91	7854	31,11	<b>30,97</b>
Referência	28	24,54	7854	30,65	
Referência	28	24,94	7854	31,15	

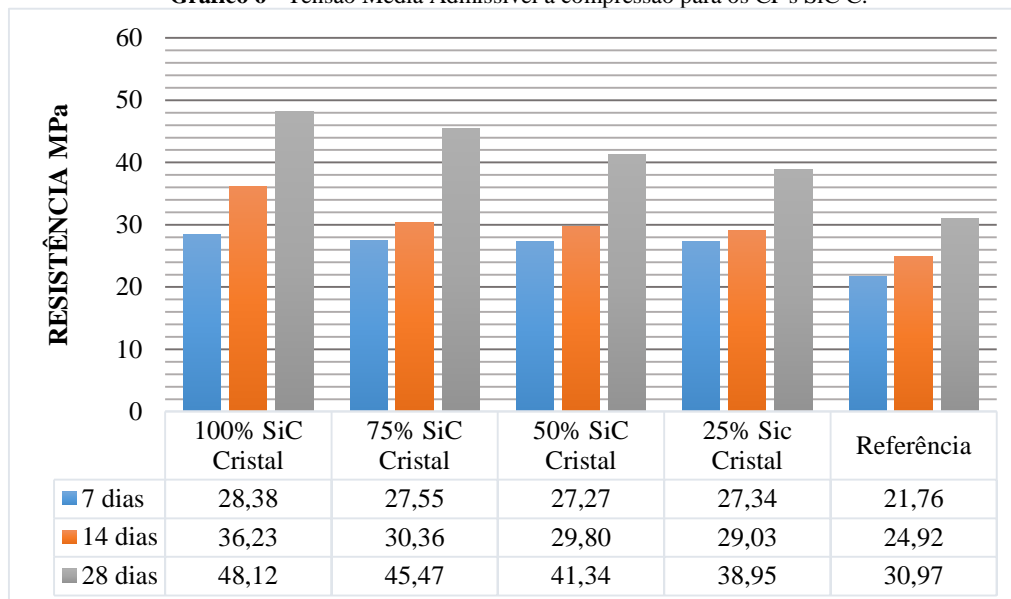
Fonte: O autor, 2019.

Os gráficos 5 e 6 estão organizados de acordo com o tipo de SiC utilizado e a idade dos corpos de provas, para uma melhor compreensão das tabelas 20 e 21 respectivamente.

**Gráfico 5** – Tensão Média admissível a compressão para os CP's SiC M.



Fonte: O autor, 2019.

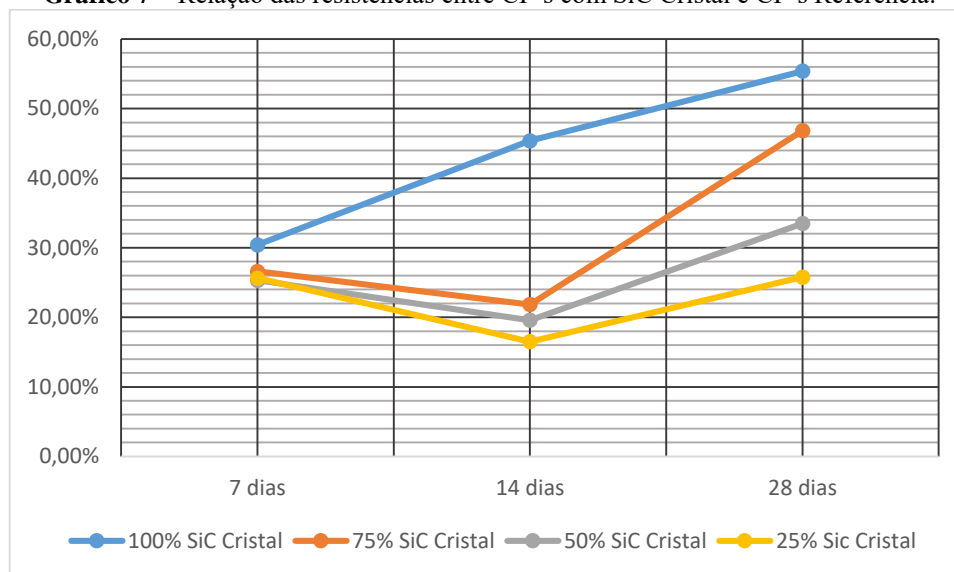
**Gráfico 6 - Tensão Média Admissível a compressão para os CP's SiC C.**

Fonte: O autor, 2019.

A partir das tabelas e gráficos acima é possível afirmar que os traços de concreto que contém o SiC como parte ou total do agregado graúdo, oferecem melhor desempenho a compressão do que o concreto convencional, já que, quando comparados, os CP's referência (agregado: brita zero) em todas as idades apresentaram resistência média inferior aos demais.

Na tabela 20 e no gráfico 5 são apresentadas as resistências dos CP's de SiC Metalúrgico e os CP's Referência aos 14 e 28 dias de idade. Nos primeiros 14 dias, apenas o CP's de 25% SiC M não superou o Referência de mesma idade, o que pode ter sido ocasionado pelo mau adensamento do concreto, uma vez que, eles apresentavam nichos, constatados após a retirada do molde de corpo de prova. Já aos 28 dias todos os traços com SiC M superaram cargas maiores que o 100% brita, com ênfase no de 100% SiC M que teve uma performance de 61,9% a mais que o referência.

Uma análise geral da tabela 21 e o gráfico 6 mostra que os CP's de SiC Cristal nos primeiros 7 dias, quase atingiram a resistência média máxima que os CP's de referência suportaram aos 28 dias. Já aos 14 dias, os CP's de 100% superaram a resistência do traço referência aos 28 dias e os de 75% quase se igualaram ao referência. E por fim, aos 28 dias, como já mencionado anteriormente, todos os traços superaram o traço referência, com destaque ao traço de 100%SiC, que foi teve resistência 55,38% maior, como pode ser observado no gráfico 7.

**Gráfico 7** – Relação das resistências entre CP's com SiC Cristal e CP's Referência.

Fonte: O autor.

Outra informação relevante que se pode obter analisando as tabelas 20 e 21, é a diferença entre as resistências dos dois tipos de carbetos de silício, os corpos de provas de SiC Cristal mantiveram uma resistência média superior à dos corpos de provas de SiC Metalúrgico de traços iguais. Entretanto quando avaliados os corpos de provas com 28 dias de idade, é notório que o traço de 100% de Carbetos de Silício Metalúrgico foi maior que os demais, o qual proporcionou resistência média de 50,14 MPa enquanto o de 100% de Carbetos de Silício resistiu a uma tensão média de 48,12 MPa.

Esta discrepância pode ser oriunda da diferença de granulometria entre os dois materiais, devido ao SiC Metalúrgico utilizado ser de granulometria inferior ao SiC Cristal, o que interfere diretamente na resistência, pois agregados graúdos menores quando adensados corretamente, tendem a deixar menos espaços entre si, resultando em um concreto com poucos vazios e conseqüentemente resistência elevada.

O corpo de prova contendo apenas a metade do agregado graúdo calculado para um traço de 100% SiC M, resistiu a uma tensão axial de 44,02MPa, não superando somente os traços de 100%SiC M, 100% SiC C e 75% SiC C. Não foi possível realizar uma análise mais detalhada, entretanto, essa situação pode ter sido proporcionada por uma melhor aderência entre a argamassa e SiC (agregado graúdo).

## 6 CONCLUSÃO

No decorrer deste trabalho, avaliamos a resistência a compressão axial de traços de concreto para finalidade estrutural com diferentes porcentagens de Carbetos de Silício Metalúrgico e Carbetos de Silício Cristal, comparando-os entre si e com o traço referência, no qual foi utilizado somente a brita zero como agregado graúdo. Nas duas primeiras semanas o SiC C demonstrou ser mais resistente que o SiC M, entretanto na última semana o traço de 100% SiC M foi o que apresentou a maior resistência. Embora somente este traço de SiC M foi superior aos de SiC C de mesma proporção, um dos motivos apontados como causa foi a diferença de granulometria, já que quanto menor a granulometria do agregado graúdo, mais próximos ficam seus grãos e menores ficam os vazios, o que proporciona melhor resistência.

A grande diferença entre o SiC C e o SiC M, esta em sua composição e seu campo de aplicação mediante a determinação da NBR 7211/2009, a qual determina que para concreto aparente não podem ser utilizados agregados com teor carbônico superior a 0,5% do total de sua massa. Em acordo com este trecho da norma, apenas o SiC C pode ser utilizado em concreto aparente.

Por ser um material cerâmico de estrutura cristalina e face cúbica centrada, o Carbetos de Silício possui excelentes propriedades, sendo resistente a abrasivos, inerte químico, possui alta dureza, dentre outros. Essas características contribuem para um bom desempenho de uma estrutura de concreto, aumentando sua resistência tanto para a aplicação de cargas internas por causa da sua alta resistência a compressão, quanto para as cargas externas devido a uma melhor resistência a abrasão.

Como resultado, conseguimos um concreto de 50MPa para 100% SiC M e de 48MPa para 100% SiC C, enquanto o traço de 100% Brita teve uma resistência de 30MPa, comprovando assim a eficiência do SiC em geral.

Além disso, os resultados encontrados evidenciam que utilizando o concreto com SiC, podemos obter peças mais esbeltas, pois, a área das peças estruturais (pilares e vigas) são encontradas em função do  $F_{ck}$  do concreto, quanto maior for esse parâmetro mais fino e mais alto/comprido será possível construir essas peças.



**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA**

ALBUQUERQUE, Gabriela Bandeira de Melo Lins de. **Dimensionamento de vigas de concreto armado em situação de incêndio**. 2013. 246 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia das Estruturas, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3144/tde-09022013-135226/en.php>>. Acesso em: 17 maio 2019.

ALMEIDA, Silvio Martins. **Análise do módulo de elasticidade estático e dinâmico do concreto de Cimento Portland através de ensaios de compressão simples e de frequência ressonante**. 2012. 213 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia de Materiais e Construção, Universidade Federal de Minas Gerais Escola de Engenharia, Belo Horizonte, 2013. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1843/ISMS-96DR6D>>. Acesso em: 06 maio 2019.

AMBROZEWICZ, Paulo Henrique Laporte. **Materiais de Construção: Normas, Especificações, Aplicações e Ensaio Laboratoriais**. São Paulo: Pini Ltda, 2012.

ARAÚJO, José Milton de. **Pilares esbeltos de concreto armado Parte 1: Um modelo não linear para análise e dimensionamento**. Repositório Institucional da Universidade Federal do Rio Grande, 2011. Disponível em: <<http://repositorio.furg.br/handle/1/4410>>. Acesso: 08 de junho de 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5378: Concreto – Procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova: Referências**. Rio de Janeiro, p. 1-9. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953: Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência**. Rio de Janeiro, p. 1-7. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento: Referências**. Rio de Janeiro, p. 3-22. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697: Cimento Portland – Requisitos**. Rio de Janeiro, p. 1-12. 2018.

AVELINO, Veruska Kelly Gomes Rocha. **Estudo do comportamento no estado fresco e endurecido do concreto com incorporação de resíduo de corte de botão**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade do Rio Grande do Norte, Natal, 2011. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/14835>>. Acesso em: 14 maio de 2019.

BORGES, Paulo Henrique Ribeiro et al. **Estudo comparativo da análise de ciclo de vida de concretos geopoliméricos e de concretos à base de cimento Portland composto (CP II)**. Ambiente Construído, v. 14, n. 2, p. 153-168, 2014. Disponível em: <<https://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/39979>> Acesso em: 05 de Maio de 2019.

CASTRO, A. L. de; LIBORIO, J. B. L; PANDOLFELLI, V. C. **A influência do tipo de cimento no desempenho de concretos avançados formulados a partir do método de dosagem computacional**. Cerâmica [online]. 2011, vol.5, n.341, pp. 10 -21. ISSN0366-6913. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0366-69132011000100002>>. Acesso em 07 de Jun. de 2019.

CAFANGE, Daniele Maria Pilla Junqueira. **Estudos de métodos e medidas auxiliares para o controle da resistência a carbonatação de concretos estruturais de cimento Portland**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica, University of São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: <[doi:10.11606/D.3.2010.tde-06042011-130020](https://doi.org/10.11606/D.3.2010.tde-06042011-130020)> Acesso em: 05 de Maio de 2019.

CARDOSO, Júlia Rodrigues. **Pré-dimensionamento da seção transversal de vigas de transição para edificações em concreto armado**. 2017. 82 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2016. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10737/1208>>. Acesso em: 17 maio 2019.

CARNIN, Raquel Luísa Pereira et al. **Desenvolvimento de peças de concreto (Paver) contendo areia descartada de fundição para pavimento intertravado**. Revista Pavimentação, v. 5, p. 56-67, 2010. Disponível em: <

[http://www.technocast.com.mx/downloads/guesser/Desen\\_Artefatos\\_Pavers\\_AreiaDesc\\_Fund.pdf](http://www.technocast.com.mx/downloads/guesser/Desen_Artefatos_Pavers_AreiaDesc_Fund.pdf)> Acesso em: 12 de Maio de 2019.

CASTRO, A. L.; PANDOLFELLI, V. C.. **Revisão: conceitos de dispersão e empacotamento de partículas para a produção de concretos especiais aplicados na construção civil.** *Cerâmica* [online]. 2009, vol.55, n.333, pp.18-32. ISSN 0366-6913. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0366-69132009000100003>> Acesso em: 10 mar. 2019.

FABRO, Fabiana et al. **Influência da forma dos agregados miúdos nas propriedades do concreto.** *RIEM – IMBRACON Structures and Materials Journal*, v. 4, n.2, mar. 2011. ISS 1983-4195. Disponível em: <<http://www.revistas.ibracon.or.br/index.php/riem/article/view/174>> Acesso: 09 de maio de 2019.

GIONGO, Samuel José. **Concreto Armado: Introdução a propriedades dos materiais.** 2007. Departamento de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007. Disponível em: <[http://coral.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/Introd\\_Prop\\_Materiais.pdf](http://coral.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/Introd_Prop_Materiais.pdf)>. Acesso em: 15 maio 2019.

HELENE, P. Análise da resistência à compressão do concreto em estruturas acabadas com vistas à revisão da segurança estrutural. **Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción**, v. 1, n. 1, p. 67-92, 2011.

IZHEVSKYI, V. A. et al. **Review article: Silicon Carbide. Structure, Properties and processing.** *Cerâmica* [online]. Vol. 46 n297. Instituto de Pesquisas energéticas e Nuclerares, C.P, Pinheiros, São Paulo. 2000. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0366-69132000000100002>>. Acesso em: 20 maio 2019.

JACQUES, Geovani Rodrigues. **Estudo da viabilidade técnica da utilização de concreto reciclado como agregado graúdo em concreto de cimento portland.** 2014. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2014. Disponível em: <<http://bibliodigital.unijui.edu.br:8080/xmlui/handle/123456789/2129>>. Acesso em: 26 abr. 2019.

LIU, Lifei et al. **Testes de raspagem de grão de diamante único de cerâmicas de carboneto de selício. Optoelectron Adv Mat**, v. 9, n. 3-4, p. 439-446, 2015. Disponível em: <<http://or.nsf.gov.cn/bitstream/00001903-5/296077/1/1000014391694.pdf>>. Acesso em: 16 fevereiro 2019.

MARINS, Eleasar Martins. **Otimização e caracterização microestrutural de cerâmicas de carbeto de silício obtidas com material nacional para uso em blindagem balística**. 2008. 95 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2008. Disponível em: <[https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/103735/marins\\_em\\_dr\\_guara\\_prot.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/103735/marins_em_dr_guara_prot.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Acesso em: 17 março 2019.

MEDEIROS-JUNIOR, R. A. et al. **Investigação da resistência à compressão e da resistividade elétrica de concretos com diferentes tipos de cimento**. Rev. ALCONPAT, Mérida, v. 4, n. 2, p. 116-132, agosto 2014. Disponível em <[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-68352014000200116&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-68352014000200116&lng=es&nrm=iso)> Acesso: 07 de maio de 2019.

NETO, B. B. P.; OLIVEIRA, D. R. C.; RAMOS, D. **Efeitos do tipo, tamanho e teor de agregado graúdo no módulo de deformação do concreto de alta resistência**. Revista Matéria, v. 16, n. 2, p. 690-702, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rmat/v16n2/05.pdf>>. Acesso em 15 março 2019.

OLIVEIRA, Daniela Dolovitsch de. **Análise do desempenho mecânico em concretos permeáveis com substituição parcial do agregado graúdo por resíduo da construção civil**. 2017. 89 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2017. Disponível em: <[http://bibliodigital.unijui.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/4693/Daniel a%20Dolovitsch%20de%20Oliveira.pdf?sequence=1](http://bibliodigital.unijui.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/4693/Daniel%20Dolovitsch%20de%20Oliveira.pdf?sequence=1)>. Acesso em: 16 mar. 2019.)

SANTIAGO, Wagner Carvalho; BECK, Andre Teofilo. Estudo da (não) conformidade de concretos produzidos no Brasil e sua influência na confiabilidade de pilares curtos. **RIEM - IBRACON Structures and Materials Journal**, [S.l.], v. 4, n. 4, sep. 2011. ISSN 1983-4195. Disponível em: <<http://www.revistas.ibracon.org.br/index.php/riem/article/view/261>>. Acesso em: 03 junho 2019.

SANTOS, C. et al . **Obtenção in situ do compósito alfa-SiAlON-SiC**. Cerâmica, São Paulo , v. 51, n. 320, p. 413-419, Dec. 2005 . Available from <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0366-69132005000400017&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132005000400017&lng=en&nrm=iso)>.

Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0366-69132005000400017>>. Acesso em 28 maio de 2019.

SILVA, Lídia Cristina de Rezende. **Produção de carbetos de silício em escala piloto**. 2018. 62 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Minas). Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018. Disponível em: <<http://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/1580>>. Acesso em: 08 agosto 2019.

SILVA, Luzilene Souza; et al. **Análise das propriedades físico-químicas do agregado miúdo utilizado na Região Metropolitana de Belém-PA**. Brasil: Universidade Federal de Roraima, Centro de Ciência e Tecnologia, v. 4, n. 7, 2018. Disponível em: <<https://revista.ufrr.br/rct/article/view/5073>>. Acesso em: 11 maio 2019.

VENDRAMETO, Oduvaldo; FRACARRI, P.; BOTELHO, W. A inovação tecnológica na construção civil e os aspectos humanos. **Artigo científico publicado nos Anais do XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção-Florianópolis, SC, Brasil, 2004**. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2004\\_Enegep0801\\_0179.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2004_Enegep0801_0179.pdf)>. Acesso em: 25 fev. 2019.

WANGLER, T.; et al. **Digital Concrete: Opportunities and Challenges**. RILEM Technical Letters, v. 1, p. 67-75, 31 out. 2016. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/309600435\\_Digital\\_Concrete\\_Opportunities\\_and\\_Challenges](https://www.researchgate.net/publication/309600435_Digital_Concrete_Opportunities_and_Challenges)>. Acesso em: 23 fev. 2019.

WEIDMANN, Denis Fernandes. **CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA FORMA E DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE AGREGADOS MIÚDOS DE BRITAGEM NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND**. 2008. 295 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/106626/264453.pdf?se>>.

Acesso em: 11 maio 2019.

WONG, H. S.; BUENFELD, N.R, **Determining the water-cement ratio, cement content, water content and degree of hydration of hardened cement paste: method development and validation on paste samples**. Cement and Concrete Research, 2009. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S000888460900146> X > Acesso em: 15 de maio de 2019.