

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DE INFRAESTRUTURA

PEDRO DE PAULA SALIÉS

ANÁLISE COMPARATIVA DO DESEMPENHO MECÂNICO DO CONCRETO  
REALIZADO EM LABORATÓRIO E EM CAMPO: ESTUDO DE CASO.

Joinville

2022

PEDRO DE PAULA SALIÉS

ANÁLISE COMPARATIVA DO DESEMPENHO MECÂNICO DO CONCRETO  
REALIZADO EM LABORATÓRIO E EM CAMPO: ESTUDO DE CASO.

Trabalho apresentado como requisito para obtenção do título de bacharel no Curso de Graduação em Engenharia Civil de Infraestrutura do Centro Tecnológico de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: Dra. Valéria Bennack.

Joinville

2022

PEDRO DE PAULA SALIÉS

ANÁLISE COMPARATIVA DO DESEMPENHO MECÂNICO DO CONCRETO  
REALIZADO EM LABORATÓRIO E EM CAMPO: ESTUDO DE CASO.

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil de Infraestrutura, na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Joinville (SC), 02 de novembro de 2022.

**Banca Examinadora:**

---

Dra. Valéria Bennack  
Orientadora  
Presidente

---

Dra. Anelize Borges Monteiro  
Membra  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Dr. Julián Asdrubal Buriticá García  
Membro  
Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho a minha mãe, família e amigos.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, que me capacitou para realização deste trabalho e conclusão da graduação. A minha família que sempre me apoiou e me deu suporte. Aos meus colegas, que me acompanharam desde o começo do curso, certamente sem eles não chegaria até aqui. E aos profissionais da prefeitura de Joinville que me forneceram as informações necessárias para realização deste trabalho.

## RESUMO

Os dispositivos de drenagem têm o objetivo de escoar a água da via para rede de drenagem, a interrupção desse objetivo, seja por obstrução ou danos causados aos dispositivos de drenagem podem causar consideráveis para a região. Diante do alto índice de ruptura das grelhas boca de lobo de concreto e a dificuldade de encontrar outro material que seja financeiramente viável para cumprir o desempenho da mesma, se faz necessário comparar o desempenho mecânico do concreto utilizado na moldagem da grelha em campo e seu desempenho quando dimensionado em laboratório, visto em campo não se tem um controle da dosagem do concreto quando adicionado no processo de mistura. O presente trabalho traz essa comparação utilizando o método ABCP para dosagem em laboratório, com o intuito de atingir uma resistência de 35 MPa. Para isso foram realizados ensaios de abatimento de tronco de cone, absorção, índice de vazios, resistência à compressão axial e massa específica real do concreto. Os resultados obtidos apresentam uma resistência à compressão inferior a prevista inicialmente, podendo ser comprovada por meio dos resultados dos índices físicos e modelo de compactação adotado.

**Palavras-chave:** Grelha; resistência; corpo de prova.

## **ABSTRACT**

The drainage devices have the objective of draining the water from the road to the drainage network, the interruption of this objective, whether due to obstruction or damage caused to the drainage devices, can cause considerable damage to the region. Faced with the high rate of rupture of concrete gratings and the difficulty of finding another material that is financially viable to fulfill its performance, it is necessary to compare the mechanical performance of the concrete used in molding the grating in the field and its performance when sized in the laboratory, seen in the field there is no control of the concrete dosage when added in the mixing process. The present work brings this comparison using the ABCP method for laboratory dosage, in order to reach a resistance of 35 MPa. For this purpose, truncated cone slump tests, absorption, void ratio, axial compression strength and actual specific mass of the concrete were carried out. The results obtained show a lower compressive strength than initially predicted, which can be proven through the results of the physical indices and the adopted compaction model.

**Keywords:** Railings; resistance; specimen mold.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Meio fio de concreto.....	18
<b>Figura 2</b> - Representação de uma sarjeta.....	18
<b>Figura 3</b> - Representação dos tipos de boca coletora.....	19
<b>Figura 4</b> - Boca de lobo de guia.....	19
<b>Figura 5</b> - Grelha boca de lobo de ferro fundido.....	20
<b>Figura 6</b> - Grelha boca de lobo de concreto armado.....	20
<b>Figura 7</b> – Simples, com grelha e combinada.....	21
<b>Figura 8</b> - Instalação de galerias de drenagem.....	22
<b>Figura 9</b> - Medida de Abatimento (mm).....	24
<b>Figura 10</b> - Curva de Walz.....	31
<b>Figura 11</b> - Divisão dos materiais.....	36
<b>Figura 12</b> - Tambor misturador.....	36
<b>Figura 13</b> - Betoneira.....	37
<b>Figura 14</b> – Esteira para levar o concreto até o molde.....	37
<b>Figura 15</b> - Armadura utilizada na grelha.....	38
<b>Figura 16</b> - Moldagem da grelha.....	39
<b>Figura 17</b> - Conjunto de peneiras no agitador mecânico.....	43
<b>Figura 18</b> - Recipiente adaptado.....	43
<b>Figura 19</b> – Fator água/cimento pela curva de Walz.....	46
<b>Figura 20</b> - Retificação dos corpos de prova.....	52
<b>Figura 21</b> - Prensa hidráulica para realização do ensaio à compressão.....	53
<b>Figura 22</b> - Abatimento de tronco de cone.....	60
<b>Figura 23</b> - Corpo de prova A.....	62
<b>Figura 24</b> - Corpo de prova B.....	62
<b>Figura 25</b> - Corpo de prova C.....	62
<b>Figura 26</b> - Corpo de prova D.....	63

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1</b> - Curvas granulométricas agregado miúdo.....	56
<b>Gráfico 2</b> - Curvas Granulométricas Agregado Graúdo .....	59
<b>Gráfico 3</b> - Resultados do ensaio de resistência à compressão (MPa). .....	61

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Classes de Resistência dos Concretos Simples.....	23
<b>Tabela 2</b> - Conjunto de peneiras das séries normal e intermediária. ....	29
<b>Tabela 3</b> - Vantagens e desvantagens do concreto armado. ....	34
<b>Tabela 4</b> - Propriedades do agregado graúdo .....	40
<b>Tabela 5</b> - Propriedades da Areia.....	40
<b>Tabela 6</b> - Propriedades do cimento CPV ARI-RS.....	41
<b>Tabela 7</b> - Massa mínima por amostra de ensaio. ....	42
<b>Tabela 8</b> - Característica do recipiente.....	44
<b>Tabela 9</b> - Valores de Sd em função do rigor da produção .....	45
<b>Tabela 10</b> - Consumo de água aproximado ( $l/m^3$ )......	47
<b>Tabela 11</b> – Volume compactado seco de agregado graúdo por metro cúbico de concreto.....	48
<b>Tabela 12</b> – Dosagem obtida pelo método ABCP.....	55
<b>Tabela 13</b> – Análise granulométrica do agregado miúdo.....	56
<b>Tabela 14</b> – Módulo de finura das areias.....	57
<b>Tabela 15</b> – Análise granulométrica do agregado graúdo. ....	58
<b>Tabela 16</b> – Dimensão característica do agregado graúdo. ....	58
<b>Tabela 17</b> - Massa unitária compactada do agregado graúdo.....	59
<b>Tabela 18</b> – Resultados dos índices físicos do concreto ensaiado. ....	64

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ELU – Estado Limite Último

ELS – Estado Limite de Serviço

MF – Módulo de Finura

DMC – Dimensão Máxima Característica

MPa – Mega Pascal

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

NBR – Norma Brasileira

CPV ARI – Cimento Portland de Alta Resistência Inicial

CAA – Concreto autoadensável

## LISTA DE SÍMBOLOS

$A$  – Absorção de água

$\gamma$  – Peso específico

$\gamma_a$  – Peso específico da água

$\gamma_c$  – Peso específico do cimento

$\gamma_b$  – Peso específico do agregado graúdo

$\gamma_m$  – Peso específico do agregado miúdo

$f_{c28}$  – Resistência média do concreto à compressão a 28 dias

$f_{ck}$  – Resistência característica do concreto à compressão

$f_c$  – Resistência à compressão

$F$  – Força máxima

$D$  – Diâmetro do corpo de prova

$N$  – Newton

$S_d$  – Desvio padrão

$C_a$  – Consumo de água do concreto

$C_c$  – Consumo de cimento do concreto

$C_b$  – Consumo de agregado graúdo

$C_m$  – Consumo de agregado miúdo

$a/c$  – Relação água/cimento

$g$  – Gramas

$m^3$  – Metro cúbico

$l$  – Litro

$mm$  – Milímetro

$\delta_{\text{gráúdo compact.}}$  – Massa unitária do agregado graúdo compactado

$V_{\text{areia}}$  – Volume de areia

$M_{\text{sat}}$  – Massa da amostra seca superficialmente

$M_s$  – Massa da amostra seca

$M_i$  – Massa da amostra imersa

% – Porcentagem

$I_v$  – Índice de vazios

$\rho_s$  – Massa específica da amostra seca

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA .....	15
1.2. OBJETIVOS .....	15
<b>1.2.1. OBJETIVO GERAL</b> .....	<b>15</b>
<b>1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	<b>16</b>
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>17</b>
2.1. DISPOSITIVOS DE DRENAGEM .....	17
<b>2.1.1. Meio fio</b> .....	<b>17</b>
<b>2.1.2. Sarjetas</b> .....	<b>18</b>
<b>2.1.3. Bocas coletoras</b> .....	<b>18</b>
<b>2.1.4. Galerias</b> .....	<b>22</b>
2.2. CONCRETO .....	22
<b>2.2.1 Propriedade do concreto fresco</b> .....	<b>23</b>
<b>2.2.2 Propriedades do concreto endurecido</b> .....	<b>25</b>
<b>2.2.3 Resistência característica do concreto (fck)</b> .....	<b>25</b>
<b>2.2.4 Estado limite último (ELU)</b> .....	<b>25</b>
<b>2.2.5 Estado limite de serviço (ELS)</b> .....	<b>26</b>
2.3. AGREGADOS .....	27
<b>2.3.1 Características dos agregados graúdos</b> .....	<b>27</b>
<b>2.3.2 Características dos agregados miúdos</b> .....	<b>28</b>
<b>2.3.3 Características do cimento</b> .....	<b>29</b>
<b>2.3.4 Relação água-cimento</b> .....	<b>30</b>
2.4. DOSAGEM .....	31
<b>2.4.1 Métodos de dosagem</b> .....	<b>32</b>
2.5. CONCRETO ARMADO .....	33
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>35</b>
3.1. GRELHAS DE CONCRETO .....	35
3.2. MATERIAIS .....	39
<b>3.2.1. Água</b> .....	<b>39</b>
<b>3.2.2. Agregado graúdo</b> .....	<b>40</b>

<b>3.2.3. Agregado miúdo</b> .....	<b>40</b>
<b>3.2.4. Cimento</b> .....	<b>41</b>
<b>3.3. CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS</b> .....	<b>41</b>
<b>3.3.1. Granulometria</b> .....	<b>41</b>
<b>3.3.2. Massa unitária do agregado compactado</b> .....	<b>43</b>
<b>3.4. METODOLOGIA DE DOSAGEM DO CONCRETO</b> .....	<b>44</b>
<b>3.4.1. Método de dosagem</b> .....	<b>45</b>
<u>3.4.1.1. Determinação da resistência de dosagem</u> .....	<u>45</u>
<u>3.4.1.2. Relação água/cimento</u> .....	<u>46</u>
<u>3.4.1.3. Consumo de água e cimento do concreto (<math>C_a</math> e <math>C_c</math>)</u> .....	<u>47</u>
<u>3.4.1.4. Consumo de agregado graúdo (<math>C_b</math>)</u> .....	<u>48</u>
<u>3.4.1.5. Consumo de agregado miúdo (<math>C_m</math>)</u> .....	<u>49</u>
<u>3.4.1.6. Apresentação do traço unitário</u> .....	<u>50</u>
<b>3.5. ENSAIOS</b> .....	<b>50</b>
<b>3.5.1 Ensaio de consistência</b> .....	<b>50</b>
<b>3.5.2. Ensaio de resistência à compressão</b> .....	<b>51</b>
<b>3.5.3. Índices Físicos</b> .....	<b>53</b>
<b>4. ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	<b>55</b>
4.1. DOSAGEM.....	55
4.2. GRANULOMETRIA.....	56
4.3. MASSA UNITÁRIA DO AGREGADO COMPACTADO.....	59
4.4. ENSAIO DE CONSISTÊNCIA.....	60
4.5. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	61
4.6. ÍNDICES FÍSICOS.....	63
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	<b>65</b>
<b>6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	<b>67</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>68</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Os dispositivos de drenagem são projetados com o objetivo de escoar a água da via para rede de drenagem, porém, quando a passagem da água por esse dispositivo é obstruída, causam danos consideráveis para a região. Os danos causados pelo mau funcionamento dos dispositivos de drenagem pluvial são evidentes, por não estarem em seu perfeito funcionamento, não conseguem atender a demanda projetada, gerando vários riscos para a área urbana, bem como para o meio ambiente. O motivo dessas demandas atinge toda a infraestrutura destinada aos recursos hídricos, os quais precisam abastecimento, tratamento e drenagem pluvial.

Os impactos podem ser percebidos na forma de enchentes e inundações, onde suas causas dependem da ligação com motivos desfavoráveis. Um desses motivos seria o aumento populacional, e conseqüentemente a expansão da taxa de ocupação, gerando aumento na expansão de áreas impermeabilizadas, sendo que quanto maior a população, maior a ocupação do solo, logo a redução das áreas permeáveis, dificultando a penetração da água pluvial no solo.

Cidades que possuem grandes áreas impermeabilizadas, durante períodos chuvosos, sofrem muitos problemas de inundações. Além de drenagens insuficientes, adiciona-se a ocupação irregular do solo e resíduos sólidos obstruindo as bocas de lobo. Isso se deve porque boa parte dos resíduos que ficam presos ou retidos nas bocas de lobo, não são carregados para os corpos hídricos.

As bocas de lobo atuais não são construídas com objetivo de separar e ou conter materiais sólidos levados pelas chuvas, visto que estes materiais causam obstrução das redes coletoras pluviais, assoreamento e lançamento de resíduos nos corpos hídricos.

A drenagem das águas pluviais contempla a área de saneamento urbano, que é o conjunto de serviços de infraestrutura, como esgotamento sanitário, abastecimento de água, manejo de resíduos sólidos, drenagem urbana, limpeza e águas pluviais, serviços que toda cidade deve ter para cuidar da saúde da população (TRATABRASIL, 2013).

Vale observar que a maior carência dos dispositivos de drenagem superficiais responsáveis por captar a água que vem da via é a sua frequente obstrução por detritos transportados pelas enxurradas e descartados pela população residente no

local, gerando redução na capacidade de captação do dispositivo. Especialmente os dispositivos de concreto armado sofrem constantemente com a ruptura de sua estrutura devido a sobrecargas, levando perigo a população, sendo necessário a troca constante dos mesmos.

Diante da fragilidade dos dispositivos de drenagem e a produção excessiva para substituição das mesmas, chega-se ao cenário onde se faz necessário analisar, em especial, as grelhas de boca de lobo de concreto com o foco no comparativo entre o desempenho mecânico do concreto realizado em laboratório e na Unidade de Obras da Prefeitura de Joinville.

## 1.1. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Em Joinville, somente nesse ano o setor de artefatos recebeu mais de novecentos pedidos das subprefeituras solicitando a troca das grelhas de boca de lobo. Recentemente as subprefeituras fizeram um relatório questionando se as grelhas estavam sendo produzidas da maneira correta. Como não existe nenhuma regulamentação que regularize as suas medidas e o modo de produção, fica a cargo do setor de artefatos produzir o modelo que julgue mais viável, tanto em relação a resistência, quanto a seu formato.

Este trabalho traz como problemática do setor de artefatos da Unidade de Obras da Secretaria de Infraestrutura de Joinville, a ruptura das grelhas de boca de lobo de concreto.

## 1.2. OBJETIVOS

Com o intuito de sanar a problemática de ruptura das grelhas de boca de lobo, propõe-se neste trabalho os seguintes objetivos.

### 1.2.1. Objetivo Geral

Este trabalho tem por objetivo comparar os resultados obtidos por meio da dosagem em laboratório do concreto utilizado nas grelhas de boca de lobo, com os resultados obtidos na unidade de obras da prefeitura de Joinville. Comparação esta que será feita por meio do rompimento dos corpos de prova feitos nos dois locais.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- Definir um novo traço para grelha de concreto;
- Analisar o novo traço em relação à resistência desejadas;
- Comparar a resistência adquirida na produção e a realizada em laboratório.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

O presente capítulo apresenta a fundamentação teórica deste estudo, realizada por meio da revisão da literatura voltado para os dispositivos de drenagem, as propriedades e os agregados do concreto e a dosagem do mesmo.

### **2.1. DISPOSITIVOS DE DRENAGEM**

Para o Manual de Drenagem Urbana (BRASIL, 2002), o sistema de drenagem urbana é subdividido em microdrenagem e macrodrenagem. Visto que a microdrenagem é constituída pelo sistema de condutores pluviais ou rede primária urbana, projetado para realizar a drenagem de precipitações moderadas. Já a macrodrenagem é o sistema que faz a coleta de diversos sistemas de microdrenagem, sendo responsável pelo escoamento final das águas.

Microdrenagem são os sistemas iniciais de drenagem, que se conectam posteriormente à macrodrenagem, formando assim o sistema de drenagem. Sendo essa parte responsável por realizar a coleta e o afastamento das águas pluviais, seja superficialmente ou subterrâneo, através de pequenas e médias galerias. A mesma é indispensável, pois viabiliza as condições ocorra a circulação de veículos e pedestres em áreas urbanas, evitando danos aos patrimônios públicos e privados, prevenindo enchentes e alagamentos e, conseqüentes, doenças de veiculação hídrica vinda dessas águas. Ademais, sua ausência resulta em alagamentos no perímetro urbano (FUNASA, 2016).

A microdrenagem é composta por um conjunto de componentes/dispositivos que se conectam entre si, uma vez que a junção desses componentes forma trechos. Assim, a seguir, será apresentado um pouco de alguns desses componentes.

#### **2.1.1. Meio fio**

São elementos construídos através de blocos de concreto ou pedra, que ficam na divisa entre as vias públicas, as vias de circulação de veículos e o passeio, as calçadas, formadas por um eixo paralelo em relação à via pública. Para a FUNASA

(2016), eles têm a função de guiar as águas pluviais e impedir que as mesmas passem das vias públicas para o passeio.

**Figura 1** - Meio fio de concreto.

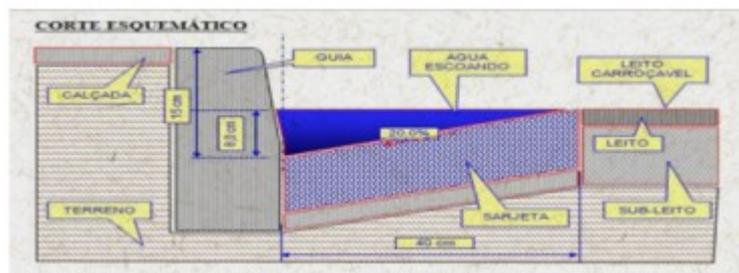


Fonte: Autor (2022).

### 2.1.2. Sarjetas

Sarjeta são as faixas que formam o limite das vias públicas com a guia ou meio fio. Segundo Silva (2019), as mesmas formam uma calha que realiza a coleta das águas pluviais decorrentes das vias públicas, devendo conter uma declividade de 20% em seu assentamento, ainda podem ser associadas ao meio fio ou ao guia, como também podem ser individuais. A **Figura 2** mostra um corte esquemático de uma sarjeta implantada.

**Figura 2** - Representação de uma sarjeta.



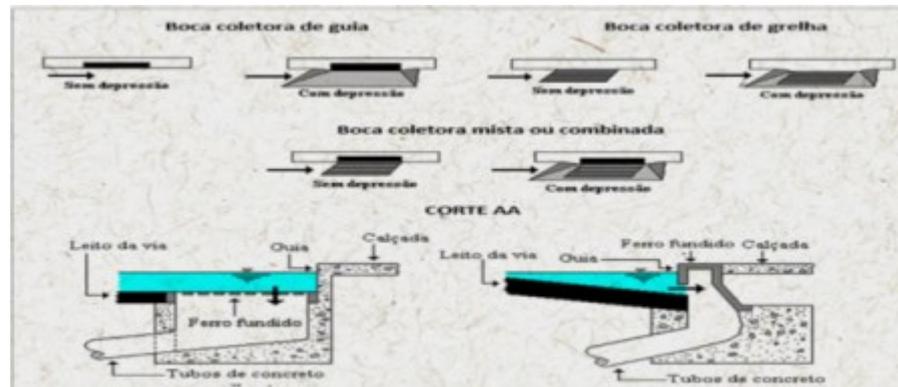
Fonte: FUNASA (2019).

### 2.1.3. Bocas coletoras

As bocas coletoras, ou como são popularmente conhecidas, boca de lobo ou bueiros, são dispositivos que realizam a captura das águas escoadas pelas sarjetas,

levando-as para as galerias (FUNASA, 2016). A **Figuras 3** mostra uma representação dos diferentes tipos de bocas coletoras.

**Figura 3** - Representação dos tipos de boca coletora



Fonte: VALEC (2010).

Dentro do sistema de drenagem urbana, as bocas de lobo têm a função de captar as águas que escoam pelas sarjetas, conectando a água que passa por esse dispositivo de drenagem superficial à rede de galerias pluviais. Dependendo da necessidade da drenagem, os dispositivos podem ser simples ou múltiplos e equipados com grelhas de ferro fundido ou pré-moldadas de concreto (SOUZA, 1986). As **Figuras 4, 5 e 6** mostram os tipos de boca implantados em campo.

**Figura 4** - Boca de lobo de guia.



Fonte: Autor (2022).

**Figura 5** - Grelha boca de lobo de ferro fundido.



Fonte: Autor (2022).

**Figura 6** - Grelha boca de lobo de concreto armado.



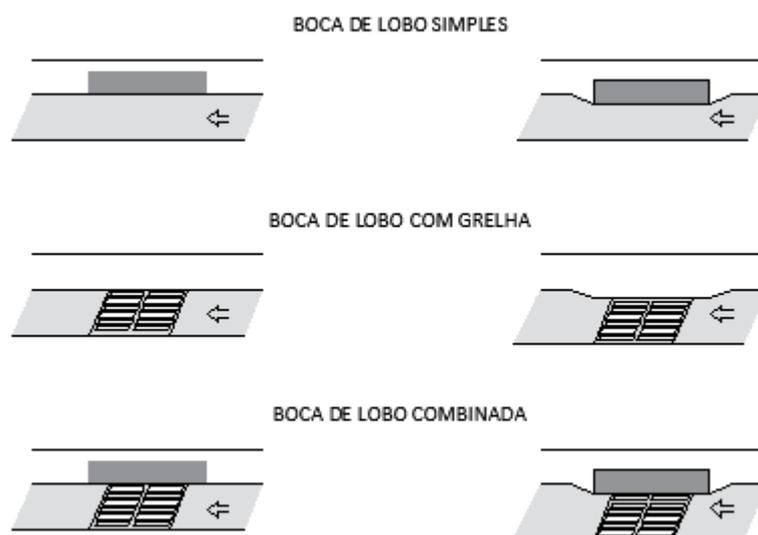
Fonte: Autor (2022).

Segundo DAEE/CETESB, os tipos de bocas de lobo mais utilizados nos sistemas de drenagem das cidades brasileiras são:

- Boca de lobo simples, com uma abertura na guia, por meio da qual é captada a água da sarjeta;
- Boca de lobo com grelha, constituída de uma abertura na sarjeta, coberta por uma grelha de concreto ou ferro fundido;
- Boca de lobo combinada ou mista, é a associação da boca de lobo simples com a de grelha.

Esses casos estão ilustrados na **Figura 7s**, onde também pode-se ver que eles podem ou não estar associados a depressão na sarjeta, usadas para concentrar a vazão captada.

**Figura 7** – Simples, com grelha e combinada.



**Fonte:** Adaptado de DAEE/CETESB (1980).

Pela falta de pesquisas relacionadas ao desempenho hidráulico das bocas de lobo com grelha, muitos projetos de drenagem são realizados com base nos resultados de pesquisas realizadas entre 1951 e 1954 pela Universidade Johns Hopkins, onde um grupo de pesquisadores desenvolveu uma série de pesquisas para investigar os problemas da drenagem de águas pluviais urbanas, principalmente o comportamento hidráulico. Sendo essas pesquisas usadas como referência para dimensionamento, mesmo sabendo que as características apontadas para a grelha e

para sarjetas sejam diferentes (LI; GOODELL; GEYER, 1954). O único ponto analisado que se tornou relevante em relação a boca de lobo com grelha foi que em sarjetas sem depressão, estas apresentaram baixa eficiência de captação (LI; GEYER; BENTON, 1951).

#### 2.1.4. Galerias

Para Kuroda (2015), as galerias de canalizações são responsáveis por conduzir as águas pluviais, proveniente das bocas-de-lobo, fazem ligações privadas de drenagem pluviais para fora da cidade para posterior deságue, podendo ter diferentes tipos de diâmetros em uma mesma rede, garantindo que a contribuição recebida não seja maior que a sua capacidade, garantindo seu escoamento de forma gravitacional. A **Figura 8** mostra a instalação de galerias de drenagem.

**Figura 8** - Instalação de galerias de drenagem.



Fonte: Autor (2022).

## 2.2. CONCRETO

Segundo Carvalho e Figueiredo (2014), o concreto é definido como a mistura predefinida de proporções de cimento, agregado graúdo, agregado miúdo e água, do qual, em algumas situações para melhorar suas características podem ser

adicionados aditivos. O concreto somente apresentará suas propriedades durante o seu preparo, aprovação e vida útil, se houver um controle durante sua preparação e execução.

Para Petrucci (1998), o concreto é definido como um material proveniente de mistura de um aglomerante com um ou mais materiais inertes a água que, quando recém misturados, tende a oferecer condições de plasticidade que facilitem as operações de manuseio, adquirindo coesão e resistência com o tempo.

Os concretos para fins estruturais estão divididos de forma mais simplificada, de acordo com a NBR 8953 (2015), são dois grupos de acordo com sua resistência característica, sendo os concretos não estruturais aqueles com resistência inferior a 20 MPa. A **Tabela 1** mostra as classes de concretos simples.

**Tabela 1** - Classes de Resistência dos Concretos Simples

Grupo I de resistência	Resistência característica à compressão (MPa)	Grupo II de resistência	Resistência característica à compressão (MPa)
C 20	20	C 55	55
C 25	25	C 60	60
C 30	30	C 70	70
C 35	35	C 80	80
C 40	40	C 90	90
C 45	45	C 100	100
C 50	50		

Fonte: ABNT NBR 8953 (2015).

### 2.2.1 Propriedade do concreto fresco

Para Petrucci (1998), quando o concreto está em seu estado fresco, ele apresenta algumas propriedades características, como o poder de retenção da água, sua textura, integridade de massa e trabalhabilidade.

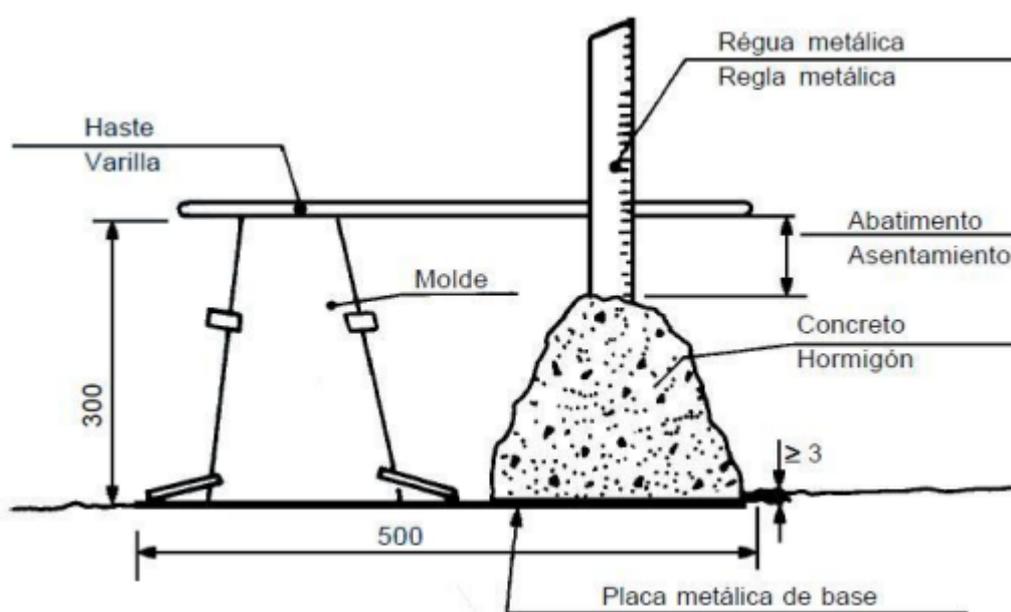
A trabalhabilidade é uma das características fundamentais para definir a capacidade de execução adequada para uma construção, caso o concreto não esteja em condições de fácil lançamento ou perfeitamente adensado, possivelmente não atingirá a durabilidade e resistência desejada (PETRUCCI, 1998).

A trabalhabilidade também pode ser definida como a quantidade de energia suficiente para vencer o atrito interno entre as partículas individuais do concreto, com o objetivo de obter o adensamento total. Os fatores principais que se relacionam com a trabalhabilidade são a relação agregado/cimento, finura do cimento, granulometria dos agregados, temperatura, entre outros, mas o principal fator é a água na mistura (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Segundo Mehta e Monteiro (2008), dentre os vários problemas causados na elaboração do concreto, pode ser citado a falta de coesão do material, que também pode ser entendido como a segregação do concreto e resistência a exsudação.

De acordo com Petrucci (1998), a trabalhabilidade pode ser medida pela deformação causada a uma massa de concreto fresco, por meio da aplicação de uma força preestabelecida. O ensaio que representa a maneira como a trabalhabilidade pode ser medida é pelo ensaio do tronco de cone desenvolvido por Abrams (NEVILLE; BROOKS, 2013). A **Figura 9** abaixo representa como é definida a deformação, por meio da diferença entre a altura do molde e da amostra, chamado abatimento.

**Figura 9** - Medida de Abatimento (mm)



Fonte: ABNT NBR NM 67 (1998).

### **2.2.2 Propriedades do concreto endurecido**

Para Alves (2002), uma das características importantes para o concreto endurecido é a resistência mecânica, dependendo da composição e especificações dos materiais usados na mistura, sendo que cada material tem sua característica que contribuem para a resistência final.

Outra propriedade fundamental do concreto é a massa específica, que segundo Petrucci (1998), varia entre  $2,3 \text{ g/cm}^3$  e  $2,5 \text{ g/cm}^3$  no estado endurecido. Essa massa depende especificamente do agregado graúdo e da quantidade de ar incorporado no elemento (ACI *Manual of Concrete practice*, 1980).

De acordo com Carvalho e Figueiredo (2014), a maneira como os grãos ficam dispostos na pasta, afeta diretamente o concreto após o endurecimento, esta propriedade é conhecida como homogeneidade, quanto mais desuniforme for a disposição dos grãos menos envolvido ele fica pela pasta, aumentando consideravelmente a permeabilidade, no caso do concreto armado é necessário que os grãos fiquem mais uniformes, para que a pasta os envolva completamente, proporcionando melhor proteção à armadura.

### **2.2.3 Resistência característica do concreto (fck)**

Segundo Recena (2002), antes de começar o projeto de um artefato ou estrutura de concreto armado, é necessário definir uma resistência à compressão do concreto, determinada pelo projetista com base nos critérios previstos nas normas NBR 12655: 2022 e NBR6118: 2014. Como apresentado anteriormente, os concretos são classificados em dois grupos de resistência, de acordo com a sua resistência característica à compressão (fck), obtido por meio dos ensaios de corpo de prova. Ainda para o mesmo autor, os corpos de prova devem ser cilíndricos com diâmetros variando de 450 mm até 100 mm, sendo a altura o dobro do diâmetro, todos eles moldados respeitando as NBR 5739: 2018 e NBR 5738: 2015.

### **2.2.4 Estado limite último (ELU)**

De acordo com Carvalho e Figueiredo (2014), o estado limite último (ELU) está relacionado ao colapso total ou parcial da estrutura em questão, que estabeleça o fim

da vida útil do elemento. De acordo com o item 10.3 da NBR 6118: 2014, a segurança aos estados limites últimos devem atender a alguns critérios:

- a) Estado limite último da perda do equilíbrio da estrutura, admitida como corpo rígido;
- b) Estado limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, no seu todo ou em parte, devido às solicitações normais e tangenciais, podendo admitir-se a redistribuição de solicitações internas;
- c) Estado limite último de limite da capacidade resistente da estrutura, considerando efeitos de segunda ordem;
- d) Estado limite último causado por solicitações dinâmicas;
- e) Estado limite último de colapso progressivo;
- f) Estado limite último considerando ações sísmicas;
- g) Outros estados limites últimos que possam ocorrer em casos especiais.

De maneira geral, para se dimensionar uma estrutura de concreto, analisa-se primeiro o ELU e posteriormente o ELS, menos no caso de concreto protendido, onde o processo ocorre de maneira inversa. O ELU nada mais é do que o esgotamento da capacidade de resistência da estrutura, resistência essa a qual se espera que nunca chegue, por isso se minora a resistência dos materiais, e majora os esforços solicitantes, para que a estrutura não chegue a seu limite de resistência. Se tornando inviabilizado o uso da estrutura quando se atinge tanto o ELS como o ELU (KIMURA, 2007).

### **2.2.5 Estado limite de serviço (ELS)**

Para NBR 6118 (2014), os estados limites de serviço estão ligados ao conforto do usuário, aparência, boa utilização e durabilidade das estruturas. Abaixo estão especificados alguns dos ELS com base no item 3.2 da mesma norma:

- a) ELS-F – Estado Limite de Formação de Fissuras: estado ao qual começa a se formar as fissuras;
- b) ELS-W – Estado Limite de Abertura de Fissuras: estado em que as aberturas atingem o valor máximo especificado;

c) ELS-DEF – Estado Limite de Deformações Excessivas: estado em que as deformações atingem o limite especificado para utilização normal;

d) ELS-VE – Estado Limite de Vibrações Excessivas: estado em que as vibrações atingem o limite especificado para utilização normal da edificação.

### 2.3. AGREGADOS

Agregados são materiais granulares que apresentam características adequadas para o uso em obras de engenharia. No concreto, eles são capazes de reduzir custos e aumentar a resistência ao desgaste sem diminuir a resistência a esforços mecânicos, pois de maneira geral os agregados possuem resistência maior à apresentada pelo aglomerante (PETRUCCI, 1998).

Os agregados podem ser classificados de três formas diferentes, quanto a dimensão, sendo divididos em agregados graúdos e miúdos. Quanto a densidade, variando entre agregados pesados, normais e leves. E quanto a origem, classificados em agregados minerais naturais e artificiais (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Segundo Neville e Brooks (2013), o objetivo inicial do agregado era aumentar o volume de concreto e preencher a pasta de cimento, observou-se que por ser um material barato se tornaria mais econômico se a mistura tivesse a maior quantidade de agregado possível, porém esta quantidade depende das características desejadas para o concreto. De maneira geral, 75% do volume do concreto é preenchido por agregado, por isso a importância da qualidade do mesmo.

#### 2.3.1 Características dos agregados graúdos

A norma ABNT NBR 7211 (2022), define os agregados quanto ao tamanho dos grãos, segundo ela os agregados graúdos são “grãos que passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm”.

Uma das características mais importantes do agregado graúdo é o seu diâmetro máximo. Segundo *ACI Manual of Concrete practice* (1980), pelo diâmetro máximo do agregado graúdo é possível estimar o consumo de água, peso específico do concreto e o seu volume dentro do concreto.

Dimensão máxima característica é a grandeza associada à distribuição granulométrica do agregado, correspondente à abertura nominal, em milímetros, da malha da peneira da série normal ou intermediária na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou intermediária na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa. refere. (ABNT NBR 7211, 2022, p. 03).

### 2.3.2 Características dos agregados miúdos

A norma ABNT NBR 7211 (2022), classifica os agregados e define agregado miúdo como sendo grãos passantes pela peneira com abertura de malha 4,75mm e retidos na peneira de malha 150 $\mu$ m. Para Bauer (2008), as areias podem ser classificadas em faixas granulométricas, sendo areia grossa aquela que compreende uma granulometria de 2,4 a 4,8mm, areia média de 0,6 a 2,4mm e areia fina de 0,15 a 0,06mm. Sendo que cabe ao engenheiro escolher qual a granulometria ideal para aquele concreto.

O módulo de finura é uma das características fundamentais para calcular o traço de concreto pelo método ABCP, e é necessário para determinar o volume compactado seco.

Módulo de finura é a soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100 (ABNT NBR 7211, 2022, p. 04).

As peneiras da série normal e intermediária estão apresentadas na **Tabela 2**.

**Tabela 2** - Conjunto de peneiras das séries normal e intermediária.

<b>Série Normal</b>	<b>Série Intermediária</b>
75 mm	-
-	63 mm
-	50 mm
37,5 mm	-
-	31,5 mm
-	25 mm
19 mm	-
-	12,5 mm
9,5 mm	-
-	12,5 mm
4,75 mm	-
2,36 mm	6,3 mm
1,18 mm	-
0,6 mm	-
0,3 mm	-
0,15 mm	-

Fonte: ABNT NBR 7211, p.03 (2022).

### 2.3.3 Características do cimento

O Cimento Portland é um material pulverulento cinza produzido a partir do clínquer com adição de Sulfato de Cálcio em pequena proporção, de caráter hidráulico com propriedades aglomerantes, que endurece em contato com a água. Já como concreto, torna-se uma pedra artificial, ganhando forma e volume, dependendo da necessidade de cada aplicação. Por essas características, o concreto é o segundo material mais consumido pela humanidade, superado apenas pela água, a qual faz parte de sua composição (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Para a NBR 5732 (1991), o cimento Portland comum é um aglomerante hidráulico, obtido pela moagem de clínquer Portland ao qual durante a operação é adicionado quantidade suficiente de Sulfato e Cálcio. Sendo permitido durante a moagem, adicionar materiais pozzolânicos, carbonáticos e escórias de alto-forno na mistura.

Entende-se como ponto de partida, para se chegar à resistência mecânica do cimento, o início da perda de plasticidade. Como parâmetro convencional, se define a resistência mecânica como a compressão de corpos de prova após 28 dias do início do tempo de pega, por mais que não seja a resistência final, é suficiente para definir

sua qualidade. Outra característica importante do cimento é sua finura, quanto menor a finura dos grãos, menor a sua superfície de contato com a água, reduzindo a velocidade das reações, aumentando a exsudação e a permeabilidade, diminuindo a coesão e trabalhabilidade (HELENE, TERZIAN, 1992).

#### **2.3.4 Relação água-cimento**

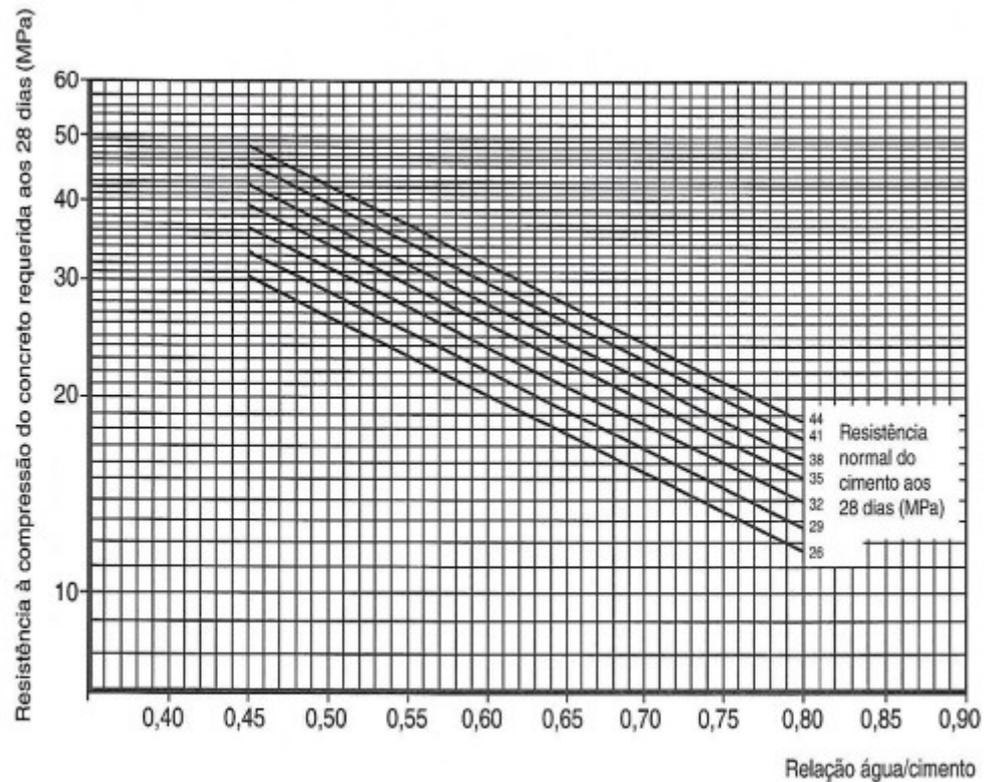
A relação-água cimento é o parâmetro mais importante do concreto devendo ser a primeira informação considerada para dosagem da mistura. Após a definição deste parâmetro, a durabilidade e resistência do concreto passam a ser únicas (HELENE; TERZIAN, 1992).

Ainda para Helene e Terzian (1992), este parâmetro é a razão entre o peso da água e do cimento dentro do traço. Assim, com uma menor relação água-cimento é possível produzir um concreto com propriedades de resistência otimizadas. Diante desta afirmação, há um impasse econômico que é sempre considerado quando o assunto é relação água-cimento, quanto mais fluido for o concreto, mais cimento será necessário acrescentar na mistura, para que se atenda a resistência desejada, sendo que o cimento representa o elemento mais caro do concreto, podendo representar até 60% do custo total.

Segundo Mehta e Monteiro (2008), Duff Abrams, por meio de vários ensaios, achou uma relação entre água-cimento e a resistência apresentada pelo concreto após os 28 dias. Esta relação mostra que a resistência do concreto diminui com o aumento do fator  $a/c$ , ficando conhecida como lei de Abrams.

De acordo com Rodrigues (1998), para efeito de resistência, o fator água-cimento pode ser determinado utilizando a Curva de Walz, uma aproximação da Curva de Abrams, conforme a **Figura 10** abaixo.

**Figura 10 - Curva de Walz.**



**Fonte:** Rodrigues (1998).

## 2.4. DOSAGEM

A dosagem do concreto é a proporção adequada dos materiais presentes na mistura, em alguns casos com o acréscimo de aditivos. Segundo Rodrigues (1998), o produto dessas proporções deve atender requisitos como a trabalhabilidade no estado fresco, resistência no estado endurecido e boa relação custo-benefício.

O objetivo amplo do proporcionamento do concreto pode expressar-se resumidamente como a escolha dos materiais adequados entre aqueles disponíveis e a determinação da combinação mais econômica destes que produza um concreto que atenda características de desempenho mínimo estabelecidas (METHA; MONTEIRO, 2008, *Apud* BOGGIO, 2000).

Para Boggio (2000), ao analisar a dosagem, não se deve limitar somente a mistura, é preciso se atentar ao processo de transporte, lançamento e adensamento do concreto, caso ocorra algum imprevisto em alguma dessas etapas, é necessário corrigir o traço do concreto, para que se possa determinar as características necessárias dos componentes para que o produto final atinja o desempenho desejado.

### 2.4.1 Métodos de dosagem

Quando o concreto começou a ser utilizado, não se tinha muito conhecido quanto a forma ideal que a mistura deveria ser dosada, por isso era feito de forma empírica. Por mais que já existissem estruturas de médio porte, de maneira geral as estruturas recebiam baixas solicitações, sendo suficiente as estruturas de pequeno porte. A mistura geralmente era feita por meio de uma proporção fixa, independente da estrutura e dos materiais utilizados. Por ser um método que não tinha critérios e não levava em consideração as características dos agregados, o resultado final eram misturas com excesso de aglomerantes e não econômicas (HELENE; TERZIAN, 1992).

Os métodos de dosagem dos concretos autoadensável (CAA), quando comparado com os métodos de dosagem dos concretos convencionais, usam de adições minerais, aditivos químicos e a modificação do esqueleto granular. Porém, para a otimização do concreto auto adensável deve-se considerar que cada material apresenta diferentes características, e também as peculiaridades das propriedades desse concreto, muito diferente do concreto convencional (GOMES; GETTU; AGULLÓ, 2003).

Um dos métodos de dosagem que se destaca para CAA, é o método Okamura, que segundo Okamura e Ouchi (2003), foi desenvolvido em 1995, como continuação do trabalho iniciado em 1986, com o objetivo de que o concreto cumpra os requisitos da auto adensabilidade, que seria uma relação água/cimento baixa, uma quantidade limitada de agregados, e altas dosagens de aditivo superplastificante.

Considerado entre os concretos mais difíceis de serem dosados, o concreto de alta resistência está entre os mais complexos de se determinar o traço desejável. Para Aiticin (2000), o concreto cada vez se torna mais que uma mistura de água e agregados, sendo mais difícil predeterminar suas propriedades, mesmo com o uso de computadores. Existem vários métodos para dosagem de concreto de alta resistência desenvolvidos nos últimos anos, dentre eles se destaca o método IPT/EPUSP modificado, que segundo Cremonini *et al.* (2001), adaptaram o método IPT/EPUSP de concreto convencional, para dosagem de concreto de alta resistência, com o objetivo de alcançar, com baixo consumo de cimento, altas resistências.

Trata-se do concreto mais utilizado na construção civil, o concreto de cimento Portland, tem seu método de dosagem apresentado a partir do método ABCP/ACI,

modelo americano adaptado as condições brasileiras pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). Segundo Rodrigues (1998), nesta metodologia, deve-se necessariamente realizar uma mistura experimental com o objetivo de verificar se as quantidades desejadas foram atingidas.

## 2.5. CONCRETO ARMADO

Segundo Clímaco (2008), a junção do concreto com o aço fornece a resistência necessária para resistir aos esforços de tração e compressão nos elementos estruturais. Dentro desse conjunto, o aço possui a característica de resistir à tração, e o concreto a esforços de compressão, ambos atuam de forma conjunta, pois possuem coeficiente de dilatação semelhante, resistindo aos esforços aplicados.

Quando os elementos estruturais de concreto são submetidos à flexão, é natural que se encontre fissuras nos locais onde o concreto sofreu esforço de tração, por causa da baixa resistência à tração do concreto (CARVALHO; FIGUEIREDO, 2014). Por esse motivo é introduzido o aço nos locais onde ocorram estes esforços de tração, para melhorar o desempenho do elemento estrutural e evitar o surgimento das fissuras.

Ainda para Carvalho e Figueiredo (2014), o desempenho do elemento só pode ser melhorado se ocorre a perfeita aderência entre concreto e o aço, porque o elemento que sofre tração só agirá quando o concreto que o envolve sofrer deformação, fazendo com que o aço se alongue. Assim como o aço auxilia o concreto quanto à tração, o concreto, quando envolve o aço, também ajuda quanto à proteção contra a oxidação e calor, quando submetido ao fogo.

Como aplicação do concreto armado é bem vasta dentro da construção civil, é comum que tenha vantagens e desvantagens quanto a sua utilização, assim como qualquer outro material. Botelho e Marchetti (2013) listam algumas de suas características positivas e negativas, conforme apresentado na **Tabela 3**.

**Tabela 3** - Vantagens e desvantagens do concreto armado.

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Boa resistência à maioria dos esforços	Peso Específico elevado, limitando o seu uso em algumas situações
Se adapta aos tipos de formas	Reparos e adaptações são de difícil execução, em alguns casos
Grande vida útil	Necessário o uso de escoramento das peças, até o concreto atingir a resistência adequada
Resistência a choques, vibrações e desgastes mecânicos	-

**Fonte:** Adaptado Botelho e Marchetti (2013).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo será descrito o processo de produção das grelhas de concreto produzidas pelo setor de artefatos da Unidade de Obras da Prefeitura de Joinville, e também a resistência à compressão do concreto utilizado na grelha. Em seguida serão apresentados os materiais utilizados para produção do corpo de prova em laboratório, o qual será utilizado como comparativo com o produzido em campo, bem como as devidas informações relevantes para execução deste trabalho. E posteriormente a metodologia utilizada, desde a caracterização dos materiais até a sua resistência a compressão simples. A metodologia deste trabalho consiste em realizar a caracterização dos materiais, para que se possa entender o comportamento do concreto em seu estado fresco, por meio dos ensaios realizados no laboratório de materiais de construção da Universidade Federal de Santa Catarina. Para que posteriormente o concreto em seu estado endurecido possa ter a sua resistência comparada com os resultados obtidos em campo.

#### 3.1. GRELHAS DE CONCRETO

As grelhas de concreto são produzidas no pátio da Unidade de Obras da Prefeitura de Joinville. A produção ocorre de maneira que a matéria prima entre no começo do processo e ao final se tenha o produto moldado e pronto para ser curado. A linha de produção começa com a locação da areia e brita em seus respectivos locais, conforme mostra a **Figura 11**, essas matérias, assim como toda a linha de produção fica em um galpão, a qual os materiais não sofrem ação direta de sol e chuva, porém sofrem influência da umidade do ar.

**Figura 11** - Divisão dos materiais.



Fonte: Autor (2022).

Separado os materiais, os mesmos são misturados no tambor apresentado na **Figura 12**. A dosagem em campo é feita apenas de maneira visual, inicialmente é despejado um saco de cimento CP V-ARI, e observado a quantidade preenchida do tambor e utilizado como “medida”, para posteriormente com o auxílio de uma enxada, despejar a mesma quantidade de areia no tambor, e depois duas medidas de brita.

Por meio da “medida” utilizada, não se sabe se a quantidade de materiais despejados na mistura é realmente a mesma, porém o setor responsável pela produção afirma que o traço utilizado para produção das grelhas de concreto é de 1:1:2, utilizando como medida um saco de cimento.

**Figura 12** - Tambor misturador.



Fonte: Autor (2022).

Posteriormente os materiais são levados, por meio de um sistema mecanizado, até a betoneira, onde ocorre o processo de mistura do material. Conforme mostra a **Figura 13**.

**Figura 13 - Betoneira.**



Fonte: Autor (2022).

Durante o processo de mistura do material, a água é adicionada, com o auxílio de uma mangueira direto na betoneira, até que a mistura adquira o aspecto visual entendido como ideal para moldagem da grelha.

**Figura 14 – Esteira para levar o concreto até o molde.**



Fonte: Autor (2022).

Após o processo de mistura, o concreto é despejado na esteira que irá transportá-lo para o molde, como mostra a **Figura 14**. Durante a mistura, a fôrma com a armadura utilizada no molde seguinte de grelha, aço com bitola de 6,3 mm, já é separada para ser colocada na mesa vibratória junto ao molde para receber o concreto. A **Figura 15** mostra a armadura utilizada na grelha.

**Figura 15** - Armadura utilizada na grelha.



Fonte: Autor (2022).

O concreto vindo da esteira é despejado sobre o molde que está preso à uma mesa vibratória, com o auxílio de uma espécie de gancho, ao modo que conforme o concreto vai caindo sobre o molde a mesa vibra de maneira a ir adensando o concreto. Dois colaboradores vão espalhando o concreto para que este preencha todo o molde, conforme mostra a **Figura 16**. Este processo dura aproximadamente um minuto e meio, assim que o molde é preenchido completamente, a vibração da grelha é finalizada e a grelha é imediatamente desmoldada.

**Figura 16 - Moldagem da grelha.**



**Fonte:** Autor (2022).

Em média são produzidas 45 grelhas por dia de produção. Diante desse sistema produtivo solicitou-se o resultado do último ensaio de resistência à compressão realizado com o concreto produzido para a grelha, e foi informado por meio de um laudo fornecido pela empresa, que a resistência obtida foi de 29 MPa.

Diante dessa informação, este trabalho traz como objetivo comparar a resistência obtida pelo último ensaio realizado em campo, com a resistência obtida em laboratório.

## 3.2. MATERIAIS

Para este trabalho foram utilizados materiais da Unidade de Obras da Prefeitura de Joinville-SC.

### 3.2.1. Água

A água utilizada neste trabalho é oriunda da rede de abastecimento de Joinville-SC.

### 3.2.2. Agregado graúdo

O agregado graúdo utilizado neste trabalho é do tipo pedrisco e provem da empresa Rudnick Minérios. Os laudos técnicos de ensaios laboratoriais fornecidos pela empresa, são apresentados na **Tabela 4**.

**Tabela 4** - Propriedades do agregado graúdo

Propriedade	Dados	Unidade
Tipo	Pedrisco	-
Peso Esp. ( $\gamma$ )	2797	kg/m <sup>3</sup>
Dmáx	9,5	mm
Massa Unitária (compac.)	1460	kg/m <sup>3</sup>

Fonte: Rudnick Minérios (2022).

Sendo que desses dados fornecidos, somente será utilizado para o cálculo da dosagem o valor do peso específico do agregado graúdo. A dimensão máxima e massa unitária compactada foram ensaiados em laboratório.

### 3.2.3. Agregado miúdo

O agregado miúdo usado neste trabalho é do tipo areia média e provem da empresa Cubatão Dragagens. Os a laudos técnicos de ensaios de qualificação de agregado para concreto (ABNT NBR-7211) fornecidos pela empresa, são apresentados **Tabela 5**.

**Tabela 5** - Propriedades da Areia

Propriedade	Dados	Unidade
Tipo	Areia Média	-
Módulo de Finura	2,38	%
Peso Esp. ( $\gamma$ )	2618	kg/m <sup>3</sup>

Fonte: Cubatão Dragagens (2020).

Dados como inchamento e umidade da areia não foram levados em consideração pelo fato de a areia passar 48h na estufa antes dos ensaios serem

realizados. Utilizando para dosagem apenas os dados de peso específico fornecidos pelo fornecedor, já o módulo de finura e tipo da areia foram ensaiados em laboratório.

### 3.2.4. Cimento

O cimento utilizado neste trabalho é do tipo CP V-ARI RS, que segundo o fornecedor é um cimento de alta reatividade nas primeiras horas, atingindo resistências maiores que os cimentos convencionais. O material provem da empresa Votorantim, que de acordo com a NBR 6474 e NBR 7215, apresenta as propriedades constantes na **Tabela 6**.

**Tabela 6** - Propriedades do cimento CPV ARI-RS

Propriedade	Dados	Unidade
Peso Esp. ( $\gamma$ )	2980	kg/m <sup>3</sup>
Resistência a compressão (28 dias)	44	MPa

Fonte: Votorantim (2022).

## 3.3. CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

Foram utilizados os materiais (areia e brita) da Unidade de Obras da Prefeitura de Joinville, para serem ensaiados e caracterizados no laboratório de materiais de construção da Universidade Federal de Santa Catarina.

### 3.3.1. Granulometria

O procedimento foi executado conforme a ABNT NBR 17054 (2022) que detalha o método para a determinação da granulometria de agregados graúdos e miúdos.

Inicialmente verificou-se a Dimensão Máxima Característica (DMC) dos agregados, diante dessa dimensão pode-se estabelecer a quantidade mínima da amostra necessária para o ensaio. Como o DMC foi definido como 9,5 mm para agregado graúdo e 4,75 mm para agregado miúdo, utilizando-se 1kg e 0,3kg de agregado para cada amostra, conforme determina a **Tabela 7**.

**Tabela 7** - Massa mínima por amostra de ensaio.

Dimensão máxima nominal do agregado mm	Massa mínima da amostra de ensaio seca kg
<4,75	0,3
9,5	1
12,5	2
19	5
225	10
37,5	15
50	20
63	35
75	60

Fonte: ABNT NBR 17054, p.03 (2022).

Para a determinação da granulometria, tanto do agregado miúdo quanto do agregado graúdo, foram utilizadas as peneiras 9,5 mm; 6,3mm; 4,75mm; 2,36mm; 1,18mm; 0,6mm; 0,3mm; 0,15mm e o fundo. Antes de cada ensaio (A e B) as massas de cada peneira, e do fundo, foram coletadas com auxílio de uma balança de precisão.

Após a determinação das respectivas massas, as peneiras foram empilhadas de acordo com a sua abertura, a partir do fundo da peneira de menor abertura para a de maior abertura conforme a **Figura 17**. Depois separou-se 5kg de cada agregado, colocando-os em estufa por 72 horas e resfriando em temperatura ambiente. Com isso, por duas vezes separou-se 1kg de agregado graúdo e 0,3kg de agregado miúdo, os mesmos foram despejados no conjunto de peneiras, dando início à execução do peneiramento de forma mecânica por 10 minutos e manualmente por 1 minuto.

Depois dessa etapa, as peneiras com o material retido foram pesadas novamente e comparadas com a medição anterior, resultando na porcentagem acumulada de cada peneira.

**Figura 17** - Conjunto de peneiras no agitador mecânico.



Fonte: Autor (2022).

### 3.3.2. Massa unitária do agregado compactado

A determinação da massa unitária compactada dos agregados segue as diretrizes da NBR 16972:2021. O recipiente escolhido para realizar o ensaio atende as especificações da norma, onde indica a capacidade mínima em relação ao DMC do agregado. Por isso, foi adaptado um recipiente com  $14,68 \text{ dm}^3$ , como mostra a **Figura 18**, atendendo a **Tabela 8**.

**Figura 18** - Recipiente adaptado.



Fonte: Autor (2022).

**Tabela 8** - Característica do recipiente.

<b>Determinação</b>	<b>Recipiente</b>		
	<b>Capacidade mínima (dm<sup>3</sup>)</b>	<b>Diâmetro interior (mm)</b>	<b>Altura interior (mm)</b>
$d \leq 37,5$	10	220	268
$37,5 \leq d \leq 50$	15	260	282
$50 \leq d \leq 75$	30	360	294

**Fonte:** ABNT NBR 16972 (2021).

Primeiramente foi realizado a tara da balança com o peso do recipiente de volume igual a 14,68 dm<sup>3</sup>. Em seguida, foi necessário encher um terço do recipiente com agregado, aplicar 25 golpes com uma haste de adensamento, adicionar mais um terço e novamente realizar o adensamento. Por fim, foi nivelado completamente a borda do recipiente adicionando uma quantidade com o intuito apenas de nivelar o recipiente.

### 3.4. METODOLOGIA DE DOSAGEM DO CONCRETO

Segundo Boggio (2000), o método ABCP/ACI (Associação Brasileira de Cimento Portland) é considerado um método empírico, que tem como base as tabelas e gráficos elaborados a partir de informações experimentais, que foram adaptados do método americano proposto pela norma ACI 211.1-81. Por causa de sua simplicidade, o método pode ser executado por técnicos de pouca experiência, pois seu roteiro é de fácil entendimento. E por esta motivação foi utilizado como método de dosagem para este trabalho.

Ainda para Boggio (2000), um dos princípios básicos apontados pelo método está no fato do procedimento vincular as granulometrias dos agregados graúdos e miúdos a um valor máximo do agregado total compactado por metro cúbico de concreto. De acordo com Rodrigues (1998), a metodologia é recomendada para concretos semi-plásticos à fluído. Este método foi desenvolvido com o objetivo de fornecer para misturas plásticas, o mais baixo teor de areia.

O método ABCP/ACI fornece estimativas próprias para as quantidades de água de amassamento (utilizada para hidratar os componentes secos) que depende dos valores médios de resistência para diversas relações de água/cimento, da

quantidade de ar incorporado na mistura e da dimensão máxima característica do agregado (BOGGIO, 2000).

### 3.4.1. Método de dosagem

#### 3.4.1.1. Determinação da resistência de dosagem

A determinação da resistência a dosagem é dada Equação 1, sendo o desvio padrão  $S_d$  a relação da medição dos componentes do concreto e a verificação do teor de umidade em relação ao rigor da produção do concreto. Critérios descritos na **Tabela 9**.

$$f_{28} = f_{ck} + 1,65 \cdot S_d \quad (1)$$

Onde:

$f_{c28}$  – Resistência média do concreto à compressão a 28 dias, em MPa;

$f_{ck}$  – Resistência característica do concreto à compressão, em MPa;

$S_d$  – Desvio padrão.

**Tabela 9** - Valores de  $S_d$  em função do rigor da produção

<b>Sd</b>	<b>Condição</b>	<b>Classe</b>	<b>Tipo de Concreto</b>
<b>4,0</b>	<b>A</b>	C10 a C80	Quando todos os materiais forem medidos em peso e houver medidor e água, corrigindo-se as quantidades de agregado miúdo e água em função de determinações frequentes e precisas do teor de umidade dos agregados, e houver garantia de manutenção, no decorrer da obra, da homogeneidade dos materiais a serem empregados.
<b>5,5</b>	<b>B</b>	C10 a C25	Quando o cimento for medido em peso e os agregados em volume, e houver medidor de água, com correção do volume do agregado miúdo e da quantidade de água em função de determinações frequentes e precisas do teor de umidade dos agregados.
<b>7,0</b>	<b>C</b>	C10 a C15	Quando o cimento for medido em peso e os agregados em volume, e houver medidor de água, corrigindo-se a quantidade de água em função da umidade dos agregados simplesmente estimada.

**Fonte:** Rodrigues (1998).

Dessa forma, adotou  $S_d = 7,0$ , Classe C – C10 a C80 obtendo assim a resistência de cálculo do concreto aos 28 dias foi determinada substituindo os valores na Equação 1, obtendo:

$$f_{cj} = 35 + 1,65 \times 7,0$$

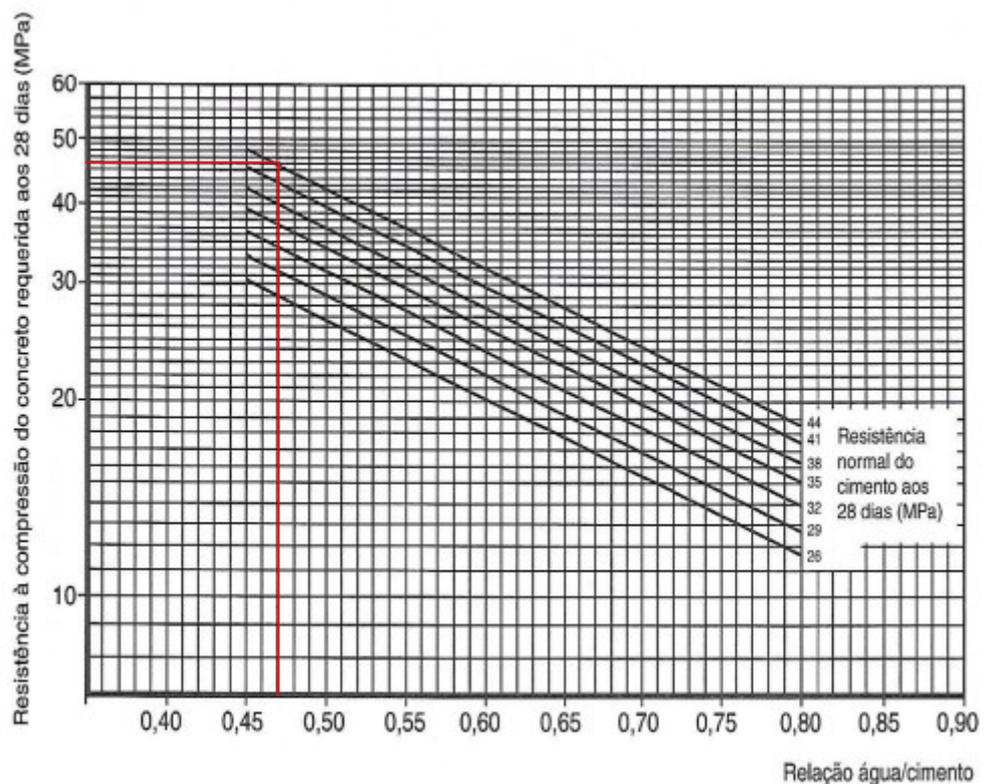
$$f_{cj} = 46,55 \text{ MPa}$$

### 3.4.1.2. Relação água/cimento

De posse da resistência de cálculo, foi possível determinar o fator água/cimento. Esta relação é definida a partir de parâmetros do projeto, para efeito de resistência, pode-se utilizar a Curva de Walz.

Com a resistência à compressão de cálculo do concreto de 46,55 MPa, e a resistência normal do cimento aos 28 dias de 44 MPa, obteve-se um fator água/cimento de 0,47, conforme mostra a **Figura 19**.

**Figura 19** – Fator água/cimento pela curva de Walz.



Fonte: Rodrigues (1998).

### 3.4.1.3. Consumo de água e cimento do concreto ( $C_a$ e $C_c$ )

Para Rodrigues (1998) a obtenção do consumo de água necessário deve ser feita analisando a textura dos grãos, granulometria e forma. Porém, há uma dificuldade em expressar matematicamente o consumo de água. Portanto, deve-se utilizar a **Tabela 10**, onde estima-se o consumo de água por metro cúbico de concreto em relação ao abatimento da mistura e o DMC do agregado graúdo.

**Tabela 10** - Consumo de água aproximado ( $l/m^3$ ).

Abatimento do tronco do cone (mm)	Dimensão máxima característica do agregado graúdo ( $D_{máx}$ )				
	9,5 mm	19,0 mm	25,0 mm	32,0 mm	38,0 mm
<b>40 a 60</b>	220	195	190	185	180
<b>60 a 80</b>	225	200	195	190	185
<b>80 a 100</b>	230	205	200	195	190

Fonte: Rodrigues (1998).

O abatimento da mistura foi estimado para que fosse um material seco, pensando na sua aplicação, considerou-se o parâmetro de abatimento de 60 a 80 mm, e como apresentado anteriormente, o DMC do agregado graúdo é de 9,5 mm. Chegando a um consumo de água aproximado de  $225 l/m^3$ .

Estimado o consumo de água, calcula-se o consumo de cimento ( $C_c$ ), por meio da Equação 2:

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

$$C_c = \frac{225}{0,47}$$

$$C_c = 478,723 \text{ kg}/m^3$$

Onde:

$C_a$  – Consumo de água do concreto, em  $l/m^3$ ;

$C_c$  – Consumo de cimento do concreto, em kg;

$a/c$  – Relação água/cimento.

#### 3.4.1.4. Consumo de agregado graúdo ( $C_b$ )

O método ABCP é caracterizado por obter misturas consistentes aliada ao menor volume de vazios intergranular possível. Para isso é determinado na mistura uma proporção adequada do agregado graúdo por meio da relação entre agregado graúdo/agregado miúdo, que tem como princípio colocar na mistura o máximo volume de agregado compactado seco por metro cúbico de concreto.

Para tal, os valores dos módulos de finura da areia e DMC do agregado graúdo que foram definidos através dos ensaios, descrito no item 3.3.1, são utilizados na **Tabela 11** para determinar o volume compactado do agregado graúdo, cujos valores foram determinados pela ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. Dessa forma foi necessário realizar interpolação entre os valores de módulo de finura 2,2 e 2,4, e os valores 0,605 e 0,585, assim o volume compactado do agregado foi de 0,587 m<sup>3</sup>.

**Tabela 11** – Volume compactado seco de agregado graúdo por metro cúbico de concreto.

MF	Dimensão máxima característica do agregado graúdo (D <sub>máx</sub> )				
	9,5 mm	19 mm	25 mm	32 mm	38 mm
1,6	0,665	0,790	0,815	0,840	0,865
1,8	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845
2	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805
2,4	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785
2,6	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765
2,8	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745
3	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725
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: Rodrigues (1998).

Com o volume compactado seco de agregado graúdo, e a massa unitária do agregado graúdo compactado em kg/m<sup>3</sup>, obtido no item 3.3.2., o consumo de agregado graúdo por metro cúbico de concreto é determinado por meio da Equação 3:

$$C_b = V_{cs} \times \delta_{\text{gráudo compact.}} \quad (3)$$

$$C_b = 0,587 \times 1471$$

$$C_b = 863,477 \text{ kg}$$

Onde:

$C_b$  – Consumo de agregado graúdo, em kg;

$V_{cs}$  – Volume de agregado graúdo compactado seco, em m<sup>3</sup>;

$\delta_{\text{gráudo compact.}}$  – Massa unitária do agregado graúdo compactado, em kg/m<sup>3</sup>.

#### 3.4.1.5. Consumo de agregado miúdo ( $C_m$ )

Por fim, a estimativa do consumo de agregado miúdo na fabricação do concreto passa primeiramente por determinar o volume de agregado miúdo, a partir da subtração do volume de água, cimento e agregado graúdo de 1m<sup>3</sup> de concreto como disposto na Equação 4:

$$V_{\text{areia}} = 1 - \left( \frac{C_c}{\gamma_c} + \frac{C_b}{\gamma_b} + \frac{C_a}{\gamma_a} \right) \quad (4)$$

$$V_{\text{areia}} = 1 - \left( \frac{478,723}{2980} + \frac{863,477}{2797} + \frac{225}{1000} \right)$$

$$V_{\text{areia}} = 0,3056 \text{ m}^3$$

Onde:

$V_{\text{areia}}$  – Volume de areia, em m<sup>3</sup>;

$C_a$  – Consumo de água do concreto, em l/m<sup>3</sup>;

$C_c$  – Consumo de cimento do concreto, em kg/m<sup>3</sup>;

$C_b$  – Consumo de agregado graúdo, em kg;

$\gamma_c$  – Peso específico do cimento, em kg/m<sup>3</sup>;

$\gamma_b$  – Peso específico do agregado graúdo, em kg/m<sup>3</sup>;

$\gamma_a$  – Peso específico da água, em kg/m<sup>3</sup>.

Logo, o consumo de agregados miúdos será dado pela Equação 5:

$$C_m = V_{areia} \times \gamma_m \quad (5)$$

$$C_m = 0,3056 \times 2618$$

$$C_m = 800,163 \text{ kg}$$

Onde:

$C_m$  – Consumo de agregado miúdo, em kg;

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

#### 3.4.1.6. Apresentação do traço unitário

Como os agregados passaram 72 horas em estufa como descrito no item 3.3.1., variáveis como inchamento e umidade da areia foram desconsideradas para efeito de correção do traço calculado. Portanto, a representação do traço é dada em massa e com relação ao valor unitário do cimento, conforme Equação 6:

$$1: \frac{C_m}{C_c} : \frac{C_b}{C_c} : \frac{C_a}{C_c} \quad (6)$$

$$1: \frac{800,163}{478,723} : \frac{863,477}{478,723} : \frac{225}{478,723}$$

$$1: 1,7: 1,8: 0,5$$

Portanto o traço unitário do concreto é dado para: 1kg de cimento:1,7kg de areia:1,8 de brita: 0,5 de água.

### 3.5. ENSAIOS

Neste item serão abordados os ensaios realizados para obtenção dos resultados.

#### 3.5.1 Ensaio de consistência

O ensaio de abatimento de tronco de cone segue a ABNT NBR NM 67:1998 que detalha a metodologia utilizada para determinação da consistência e trabalhabilidade do concreto fresco através da medida de seu assentamento.

Inicialmente o molde foi umedecido para evitar atrito excessivo entre o mesmo e o concreto. Com a mistura dos materiais na betoneira pelo tempo de 5 minutos, o concreto foi despejado no seu interior do molde, em 3 camadas, sendo que para cada uma delas foram efetuados 25 golpes. Golpeando a última camada, a superfície do concreto foi arrasada, em seguida retirou-se o molde verticalmente, colocando-o invertido ao lado do concreto abatido para que a diferença de altura do molde e do corpo de prova fosse medida.

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

O processo de moldagem dos corpos de prova do concreto produzido em laboratório seguiu a NBR5738 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova (ABNT, 2015) para formulação de um traço de concreto. Para a moldagem e confecção dos corpos-de-prova foram utilizados a balança de precisão, betoneira, óleo e moldes de dimensões 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura.

Previamente à mistura dos materiais, os moldes foram revestidos internamente com óleo e todos identificados com os devidos números da formulação. Definido o traço para realização dos corpos de prova, os mesmos foram pesados e depositados na betoneira seguindo a sequência: 1/3 da água, brita, 1/3 da água, areia, cimento e o restante de água. O material no interior da betoneira foi misturado durante 5 minutos, após esse tempo a betoneira foi interrompida para que fosse executado o Slump Test, ou ensaio de abatimento do tronco de cone.

Com o final do teste, o material foi colocado na betoneira onde novamente iniciou-se o processo de mistura pelo tempo de 1 minuto.

Iniciou-se então o processo de moldagem e adensamento. Por se tratar de um molde com dimensão de 10cm e adensamento manual, a NBR 5738:2015 recomenda que o molde seja preenchido em 2 camadas com 12 golpes em cada uma, como foi realizado. Ao todos foram moldados 4 corpos de prova, com os moldes preenchidos, utilizando a haste realizou-se o arrasamento da superfície com a borda do molde.

Moldados os corpos de prova, foram alocados em uma superfície plana por 24 horas. Após esse período os mesmos foram desmoldados e depositados em um recipiente onde ficaram submersos por 28 dias para sua cura, até o momento de seu rompimento.

Após o período de cura, os 4 corpos de provas (A, B, C e D) foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão por uma prensa hidráulica da marca Solotest pertencente à empresa Perville Engenharia e Empreendimentos S.A. Os corpos de provas tiveram sua resistência à compressão axial analisada conforme descreve o método pelo qual devem ser ensaiados os corpos de prova cilíndricos de concreto estabelecidos na ABNT NBR 5739:2018, na idade de 28 dias.

Primeiramente os corpos de prova tiveram sua superfície retificada, conforma **Figura 20**, e depois posicionados na máquina de compressão (**Figura 21**). Com o carregamento imposto aos corpos de prova constante até seu rompimento, aferiu-se o valor da força máxima suportada pelo corpo de prova.

Foram ensaiados 4 corpos de prova para cada formulação, sendo A, B, C e D. A resistência à compressão tem-se pela Equação 8.

$$f_c = \frac{4 \times F}{\pi \times D^2} \quad (8)$$

Onde:

$F$  – Força máxima alcançada, em N;

$D$  – Diâmetro do corpo de prova, em mm.

**Figura 20** - Retificação dos corpos de prova.



Fonte: Autor (2022).

**Figura 21** - Prensa hidráulica para realização do ensaio à compressão.



Fonte: Autor (2022).

### 3.5.3. Índices Físicos

Rompido os corpos de prova, foram separados com o intuito de utilizá-las para o ensaio descrito na ABNT NBR 9778: 2005. Por meio do princípio de Arquimedes as propriedades físicas do concreto foram obtidas após os 28 dias.

Os corpos foram colocados na estufa, onde permaneceram por 72h à temperatura de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ , após esse período os corpos foram pesados, obtendo assim a massa seca ( $M_s$ ). Posteriormente, os corpos foram imersos em água por 72h, onde posteriormente, com auxílio de uma balança hidrostática, obteve-se a massa imersa em água ( $M_i$ ). Por fim, secou-se superficialmente as amostras e determinou-se sua massa ( $M_{sat}$ ). Foram utilizadas as equações 9, 10 e 11 para determinar a absorção de água, índice de vazios e a massa específica real da amostra.

Absorção de água (%):

$$A = \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \times 100 \quad (9)$$

Índice de vazios (%):

$$I_v = \frac{M_{sat} - M_s}{M_{sat} - M_i} \times 100 \quad (10)$$

Massa específica real da amostra (g/cm<sup>3</sup>):

$$\rho_r = \frac{M_s}{M_s - M_i} \quad (11)$$

## 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo contém os resultados obtidos com os ensaios de caracterização dos materiais, ensaio de resistência mecânica do traço de concreto e por último a análise desses resultados.

### 4.1. DOSAGEM

Com base no traço unitário definido no item 3.3.1.6., considerou-se o traço para 3 kg de cimento. Realizando os cálculos optou-se por utilizar somente uma casa decimal, para facilitar na pesagem dos materiais. O traço realizado para execução dos corpos de prova está disposto na **Tabela 12**.

**Tabela 12** – Dosagem obtida pelo método ABCP.

<b>Materiais</b>	Cimento	Areia	Pedrisco	Água
<b>Traço Unitário</b>	1	1,7	1,8	0,5
<b>Traço Utilizado (kg)</b>	3	5	5,4	1,4
<b>%</b>	20,27	33,79	36,48	9,46

Fonte: Autor (2022).

Optou-se por definir 3 kg de cimento para não faltar concreto para a moldagem dos corpos de prova, totalizando 13,4 kg de materiais para 1,4kg de água, sendo o volume de concreto de 14,8 litros. Analisando o volume dos moldes do corpo de prova, e somando os 4, obtém-se o volume de 6,28 litros de acordo com as dimensões descritas no item 3.5.2. A água foi acrescentada em partes, para que ajudasse na mistura dos demais agregados, sabe-se que um concreto com elevada relação de água/cimento prejudica a resistência, por esse motivo foi calculado para que tivesse uma relação baixa, contudo, foi possível observar que o concreto ficou visualmente seco, faltando a adição de água na mistura.

## 4.2. GRANULOMETRIA

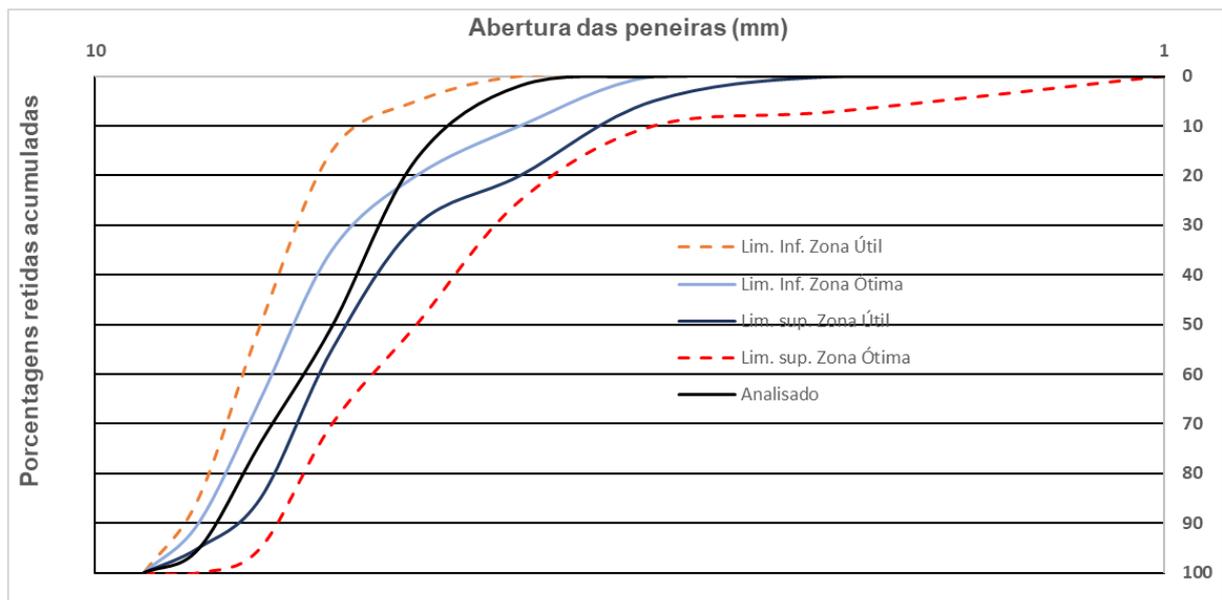
Analisando os cálculos indicados na metodologia da granulometria, item 3.2.1., foi possível obter os seguintes resultados para o ensaio A e B de agregado miúdo:

**Tabela 13 – Análise granulométrica do agregado miúdo.**

Abertura das Peneiras (mm)	A - Massa inicial seca = 300 gr		B - Massa inicial seca = 300 gr				Faixas em relação as percentagens retidas acumuladas					
	Massa retida (Mrg)		Massa retida (Mr%)		(Vr) Massa retida variações $\pm 4\%$	(Mrm) Massa retida média (%)	(Mra) Massa retida acumulada (%)	Limite Inferior		Limites Superiores		
	Ensaio A (gr)	Ensaio B (gr)	Ensaio A (%)	Ensaio B (%)				Zona Utilizável	Zona Ótima	Zona Utilizável	Zona Ótima	
9,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6,3	0,04	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	7	
4,75	0,09	0,03	0	0	0	0	0	0	0	5	10	
2,36	5,62	5,17	1,9	1,7	0,2	1,8	1,8	0	10	20	25	
1,18	44,08	44,05	14,7	14,7	0	14,7	16,5	5	20	30	50	
0,6	101,23	101,19	33,8	33,7	0	33,7	50,3	15	35	55	70	
0,3	71,69	69,48	23,9	23,2	0,7	23,5	73,8	50	65	85	95	
0,15	63,33	65,22	21,1	21,7	0,6	21,4	95,2	85	90	95	100	
Fundo	13,84	14,83	4,6	4,9	0,3	4,8	100	100	100	100	100	
Total (Mt)	299,92	299,99	D. máx = 2,36 mm			MF = 2,38						

Fonte: Autor (2022).

**Gráfico 1 - Curvas granulométricas agregado miúdo**



Fonte: Autor (2022).

Se atendo a variação que a NBR 17054:2022 especifica, pode-se observar que em nenhuma peneira a variação entre os ensaios foi superior a +/- 4%, e a curva granulométrica ficou dentro dos parâmetros estabelecidos por norma, como mostra o **Gráfico 1**, validando assim o ensaio.

Analisando os valores apresentados na **Tabela 13** é possível obter o módulo de finura do agregado miúdo, que segundo a ABNT NBR 7211 é a soma das porcentagens retidas acumuladas em massa, nas peneiras da série normal, dividida por 100. Como indicado na Tabela 2 do item 2.2.2 as peneiras utilizadas para esse cálculo foram 9,5 mm; 4,75mm; 2,36mm; 1,18mm; 0,6mm; 0,3mm e 0,15mm, obtendo um módulo de finura de 2,38. Em se tratando de uma areia, podem ser classificadas conforme o seu módulo de finura, como apresentado na **Tabela 14**.

**Tabela 14** – Módulo de finura das areias.

<b>Areias</b>	<b>Módulo de Finura</b>
Areia grossa	MF > 3,9
Areia média	2,4 < MF > 3,9
Areia fina	MF > 2,4

**Fonte:** Especificação Brasileira EB-4.

Analisando os resultados encontrados na curva granulométrica, verificou-se que a areia se encontra dentro dos limites de utilização no concreto, como estabelecido pela NBR 7211 (ABNT 2009).

O mesmo procedimento descrito no item 3.2.1. para o ensaio granulométrico foi realizado com o agregado graúdo, porém com o intuito de obter o DMC do agregado. O resultado do ensaio está apresentado na **Tabela 15**.

**Tabela 15 – Análise granulométrica do agregado graúdo.**

Abertura das Peneiras (mm)	A - Massa inicial seca = 1 kg				B - Massa inicial seca = 1kg			porcentagens retidas acumuladas											
	Massa retida (Mrg)		Massa retida (Mr%)		(Vr) Massa retida	(Mrm) Massa retida média (%)	(Mra) Massa retida acumulada (%)	Brita 4,75/12,5		Brita 9,5/25		Brita 19/31,5		Brita 25/50		Brita 37,5/75			
	Ensaio A (gr)	Ensaio B (gr)	Ensaio A (%)	Ensaio B (%)	variações ±4%			Nº 0	Nº 1	Nº 2	Nº 3	Nº 4							
75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00										0	5	
63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00										5	30	
50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00								0	5	75	100	
37,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00								5	30	90	100	
31,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00								75	100	95	100	
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0	5	75	100	87	100			
19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				2	15	65	95	95	100			
12,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	5	40	65	92	100						
9,5	46,12	50,63	4,61	5,06	0,45	4,84	4,84	2	15	80	100	92	100						
6,3	382,32	414,82	38,23	41,48	3,25	39,86	44,70	40	65	92	100	95	100						
4,75	306,62	287,90	30,66	28,79	1,87	29,73	74,42	80	100	95	100								
2,36	230,64	233,16	23,06	23,32	0,25	23,19	97,61	95	100										
1,18	13,68	6,48	1,37	0,65	0,72	1,01	98,62												
0,6	5,10	2,27	0,51	0,23	0,28	0,37	98,99												
0,3	2,21	0,70	0,22	0,07	0,15	0,15	99,13												
0,15	4,71	0,63	0,47	0,06	0,41	0,27	99,40												
Fundo	8,64	3,35	0,86	0,34	0,53	0,60	100,00												
Total (Mt)	1000,04	999,94	D. máx = 9,5 mm			MF = 5,73													

Fonte: Autor (2022).

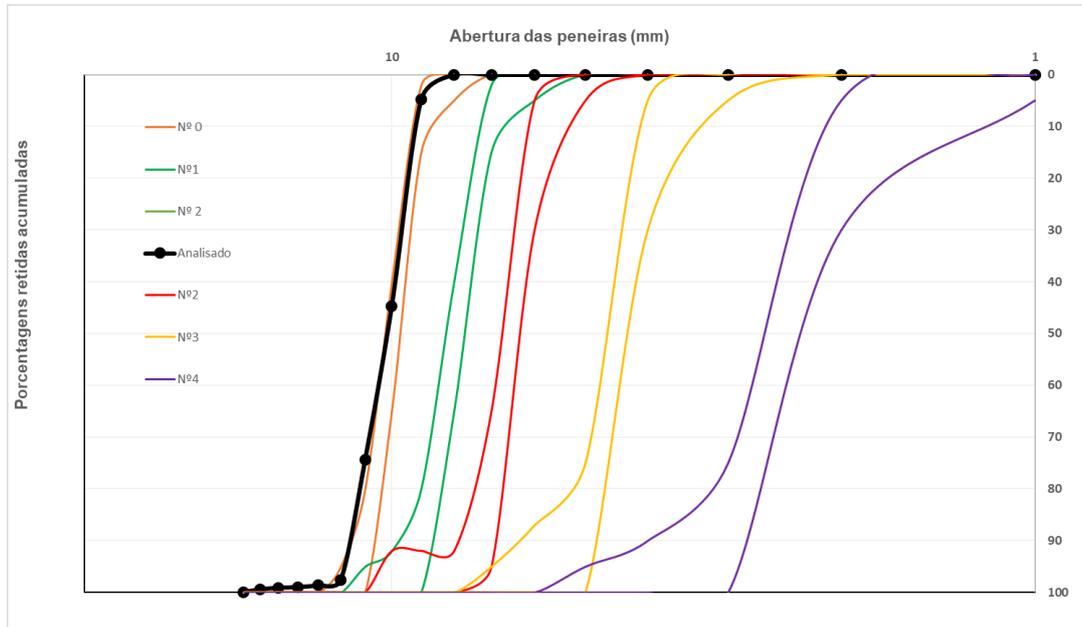
Como já citado no item 2.2.1. a DMC é determinada pela distribuição granulométrica de um agregado, correspondente à abertura, em milímetros, da malha da peneira, tanto da série normal como da intermediária, na qual o agregado apresenta porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa, obtendo uma DMC do agregado graúdo de 9,5 mm.

O exemplo mais comum de agregado graúdo são as britas graníticas, as quais são comercializadas ao tamanho usual de seus grãos e são classificadas de acordo com seu DMC como mostra a **Tabela 16**.

**Tabela 16 – Dimensão característica do agregado graúdo.**

Categoria	Dimensões (mm)	Dimensão máxima característica (mm)
Brita 0 / Pedrisco	4,8 – 9,5	9,5
Brita 1	9,5 – 19	19
Brita 2	19 – 25	25
Brita 3	25 – 50	50
Brita 4	50 – 76	76
Brita 5	79 – 100	100

Fonte: Especificação Brasileira EB-4.

**Gráfico 2 - Curvas Granulométricas Agregado Graúdo**

**Fonte:** Autor (2022).

De acordo com a NBR 7211 o módulo de finura do agregado graúdo encontrado foi de 5,73. Diante das informações o material foi classificado com brita 0 ou pedrisco.

#### 4.3. MASSA UNITÁRIA DO AGREGADO COMPACTADO

Na **Tabela 17** é possível observar os valores referente aos ensaios realizados, descrito no item 3.3.2., foi repetido. Com o intuito de se obter uma média para os parâmetros de massa unitária da amostra compactadas. Chegando na massa unitária do agregado graúdo de 1,471 g/cm<sup>3</sup>.

**Tabela 17 - Massa unitária compactada do agregado graúdo**

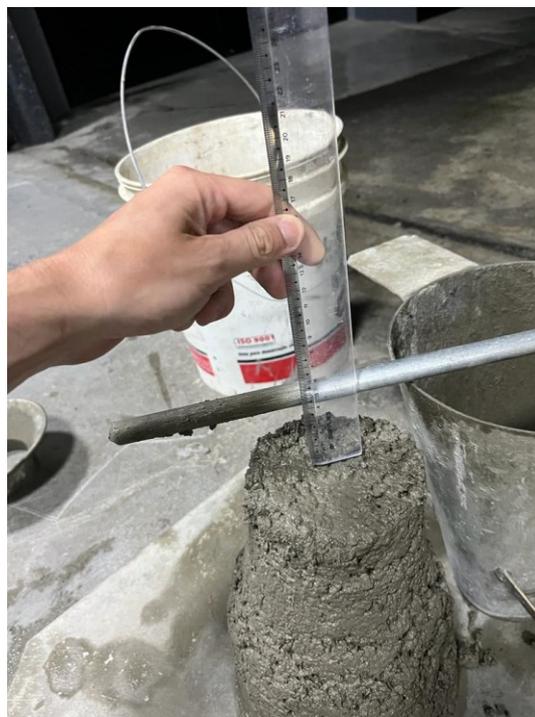
Determinação	Vol. do recipiente (dm <sup>3</sup> )	Massa do recipiente + amostra (kg)	Massa do recipiente (kg)	Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )
1 <sup>a</sup>	14,68	21,89	0,56	1,453
2 <sup>a</sup>	14,68	21,89	0,56	1,453
3 <sup>a</sup>	14,68	22,68	0,56	1,507
<b>Média</b>	<b>14,68</b>	<b>22,16</b>	<b>0,56</b>	<b>1,471</b>

**Fonte:** Autor (2022).

#### 4.4. ENSAIO DE CONSISTÊNCIA

Como a mistura visualmente apresentou falta de água, o abatimento do concreto comprovou essa tese, apresentando o valor de 42 mm, ou seja, fora dos parâmetros adotados para cálculo. Pela **Figura 22** é possível ver como os agregados graúdos estavam em algumas partes expostos, apresentando falta de argamassa em seu entorno.

**Figura 22** - Abatimento de tronco de cone.



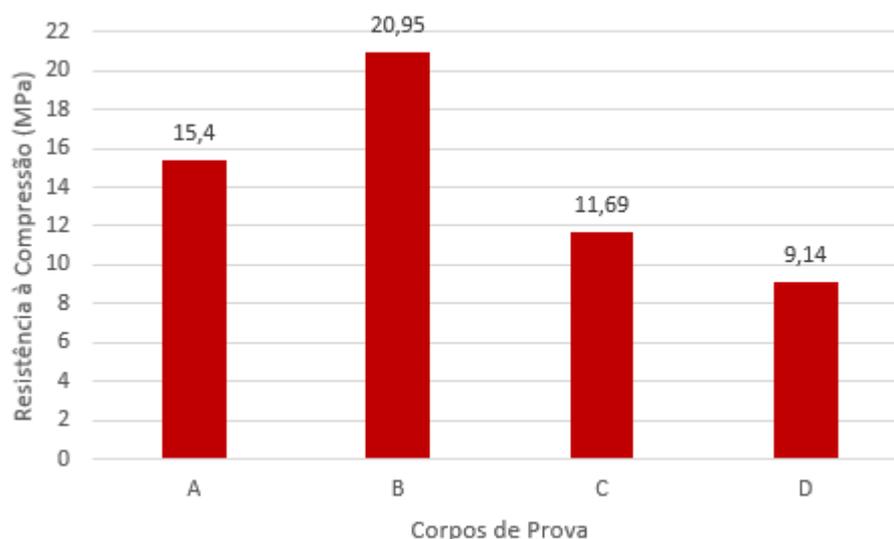
Fonte: Autor (2022).

Após realizar o Slump Test, o material foi colocado na betoneira onde novamente iniciou-se o processo de mistura pelo tempo de 1 minuto, e logo depois os corpos de prova foram moldados. Após 24 horas, os corpos de prova foram desmoldados e foi possível identificar que havia vazios visíveis nos corpos de prova, causado provavelmente no momento de moldagem, pois pelo fato da mistura estar com baixa trabalhabilidade, a maneira como é recomendado pela norma que o concreto seja compactado no molde, não foi suficiente para preencher ao menos os espaços vazios visíveis presentes nos corpos de prova.

#### 4.5. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os resultados obtidos pelo ensaio de resistência à compressão dos 4 corpos de prova encontram-se no **Gráfico 3**. Todos os corpos de prova foram rompidos após 28 dias, tendo assim uniformidade no processo.

**Gráfico 3** - Resultados do ensaio de resistência à compressão (MPa).



Fonte: Autor (2022).

Ao analisar a média, observa-se que o corpo de prova D obteve valor de resistência menor se comparado com os demais, porém de maneira geral todos os corpos atingiram resistência inferior ao calculado pelo método ABCP, quando o esperado pelo método era que a resistência atingida fosse de 35 MPa. O que pode ter causado esse resultado foi a maneira como os corpos de prova foram moldados. Por se tratar de uma mistura com baixa trabalhabilidade, se fazia necessário utilizar o adensador mecânico para que os corpos de prova não apresentassem vazios aparentes como mostrado na **Figura 23, 24, 25 e 26**.

**Figura 23** - Corpo de prova A.



Fonte: Autor (2022).

**Figura 24** - Corpo de prova B.



Fonte: Autor (2022).

**Figura 25** - Corpo de prova C.



Fonte: Autor (2022).

**Figura 26** - Corpo de prova D.



Fonte: Autor (2022).

Com o aumento do teor de finos há a necessidade de uma maior quantidade de pasta de cimento, a falta da correção do teor de água/cimento gera a probabilidade de ocorrerem vazios e conseqüentemente uma baixa resistência. Ensaio experimentais realizados por Bonavetti e Irassar (1994) demonstram que com o aumento dos finos reduz-se a trabalhabilidade, fazendo com que se necessite uma maior quantidade de água para suprir essa perda, dando como conseqüência uma menor resistência no concreto.

Comparando os valores de resistência à compressão encontrados em laboratório, com o valor encontrado em campo, pode-se entender que o resultado de campo é mais vantajoso, porém alguns fatores devem ser considerados. Primeiramente a maneira como o concreto é produzido em campo, como descrito no item 3.1., não há qualquer tipo de controle sobre a quantidade de materiais adicionados na mistura, bem como a maneira como foi produzido o concreto utilizado para moldar o corpo de prova que ao ser rompido se obteve resistência de 29 MPa, e principalmente o modo como o concreto foi adensado no molde do corpo de prova, sendo utilizado adensador mecânico.

#### 4.6. ÍNDICES FÍSICOS

A média dos resultados do ensaio de absorção, índice de vazios e massa específica da amostra seca dos corpos de prova rompidos estão dispostos na Tabela 18.

**Tabela 18** – Resultados dos índices físicos do concreto ensaiado.

<b>Corpo de prova</b>	<b>Absorção (%)</b>	<b>Índice de Vazios (%)</b>	<b>Massa Específica da Amostra Seca (g/cm<sup>3</sup>)</b>
A	6,49	10	1,71
B	7,02	10,77	1,72
C	7,42	11,33	1,72
D	8,59	12,61	1,68
<b>Média</b>	<b>7,38</b>	<b>11,37</b>	<b>1,74</b>

Fonte: Autor (2022).

Analisando as amostras da Tabela 18 de maneira geral, pode-se notar que o corpo de prova que apresentou o maior índice de vazios, maior absorção de água e consequentemente menor massa específica seca, também obteve a menor resistência à compressão, validando assim os índices físicos das amostras. Sabe-se que a absorção de água influencia na trabalhabilidade de forma inversa, quanto maior a absorção, menor a trabalhabilidade. Isso se deve pela maior absorção de água pela areia média, que quando submetida ao processo de cura faz com que a água se evapore e crie vazios no interior do concreto. O corpo D apresenta um valor 13,62% maior que o corpo C para absorção de água, e 15,32% maior para os índices de vazios. Estendendo uma diferença considerável entre os demais corpos, fugindo completamente da uniformidade esperada inicialmente, possivelmente causado pelo processo de moldagem já citado e por fissuras internas provocadas pelas tensões a qual os corpos foram submetidos em seu rompimento.

## 5. CONCLUSÃO

O estado limite último (ELU) das grelhas de concreto é provocado por solicitações dinâmicas causadas pelos veículos pesados que trafegam sobre elas. Porém nesse trabalho, essas solicitações não foram consideradas para o desenvolvimento do mesmo, bem como o estado limite de serviço (ELS), pois o objetivo é se analisar o ganho de resistência a partir da dosagem correta do concreto.

Em campo o processo produtivo da grelha de concreto inicia com a mistura dos materiais em uma caçamba antes de ser levado para a betoneira. Não há controle de qualidade em relação a quantidade de cada material que é adicionado na mistura. Segundo o responsável pelo setor de artefatos o traço utilizado na fabricação das grelhas de concreto atualmente é de: para cada 1 medida de cimento, é acrescentado 1 de areia e 2 de brita, a unidade de medida é um saco de cimento por “betonada”. O principal questionamento é a maneira como essa dosagem é feita. Observando mais atentamente é possível observar que a análise é completamente visual, optando sempre pela baixa adição de água para facilitar a desmoldagem da grelha.

Quando foram rompidos os corpos de prova moldados a partir dessa mistura, os mesmos apresentaram em média uma resistência de 29MPa. Porém como não há um controle da dosagem, é de se questionar se esse é realmente a resistência do concreto utilizados nas grelhas de concreto.

O resultado de resistência à compressão obtido por meio do rompimento dos corpos de prova dosados em laboratório pelo método ABCP foi muito inferior a resistência usada inicialmente para cálculo, tendo uma diferença de 20,68 MPa, sendo a menor resistência alcançada de 9,14 MPa. Entendo, pelos resultados dos índices físicos, que o índice de vazios e absorção foram inversamente proporcionais a resistência a compressão alcançada, a amostra com menor valor de índice de vazios e absorção, foram as que obtiveram a maior resistência. Já para massa específica seca a relação foi diretamente proporcional, menor massa específica seca, menor a resistência a compressão.

A caracterização dos materiais foi dada pela análise granulométrica dos agregados e massa específica compactada do agregado graúdo. Por meio da curva granulométrica a qual foi obtido a dimensão máxima característica do agregado graúdo e o módulo de finura da areia, chegando nos valores de 9,5 mm e 2,38

respectivamente. Já para massa específica compactada do agregado graúdo foi de 1,471 g/cm<sup>3</sup>.

Sendo assim, os resultados obtidos por esse trabalho indicam que o desempenho mecânico do concreto realizado em campo foi maior que o realizado em laboratório. Considerando que o concreto produzido em campo é adensado mecanicamente garantindo uma melhor compactação da mistura no molde, fazendo como que os agregados se envolvam mais a pasta e conseqüentemente tendo uma mistura mais coesa. Já no laboratório foi adensado manualmente, e por meio desse trabalho se pode observar que o adensamento manual não é recomendado para quando a mistura apresenta baixa trabalhabilidade. E também o controle da quantidade de materiais adicionados na mistura, que em campo é exclusivamente visual, quanto em laboratório foi adicionado a quantidade ideal.

## 6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Estudar a vazão das grelhas de boca de lobo de concreto.
- Analisar a viabilidade econômica de trocar as grelhas de concreto pelas de ferro fundido.
- Comparar a resistência de laboratório com a resistência em campo, dosando pelo método IPT.

## REFERÊNCIAS

AÏTCIN, P.-C. **Concreto de alto desempenho**, tradução de Geraldo G. Serra – São Paulo – Editora Pini, 2000.

ALVES, J. D. **Manual de tecnologia do concreto**. 4. ed. Goiânia: Editora da UCG, 2002.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE: **Manual of concrete practice - Part 1**. Michigan, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6474**. Método de ensaio para determinação da massa específica de cimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 1966.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**. Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**. Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**. Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**. Concreto – Ensaio de compressão de corpo de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**. Agregados para concreto - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

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

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

- BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.
- BOGGIO, A. J. **Estudo comparativo de métodos de dosagem de concretos de cimento Portland**. 2000. Dissertação – Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- BONAVETTI, V. L., IRASSAR, E. F. **The effect of stone dust content in sand**. Cement and Concrete Research, v. 24, n.3, p. 580-590, 1994.
- BOTELHO, Manoel Henrique Campos, MARCHETTI, Osvaldemar. **Concreto armado eu te amo**. 7. ed. São Paulo: Blucher, 2013.
- CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO, J. R. Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: Segundo a NBR 6118:2014. 4ed. São Carlos: EdUFSCar, 2014.
- CLÍMACO, J. C. T. S. **Estruturas de concreto armado: fundamentos de projeto, dimensionamento e verificação**. 2. ed. Brasília: Editora Unb, 2008.
- CREMONINI, R. A.; DAL MOLIN, D. C. C.; CECCATO, D. M.; MANCIO M.; GOULART, J. **Desenvolvimento de um método de dosagem de concretos de alta resistência com baixo consumo de cimento**, IBRACON, 2001.
- DAEE/CETESB – **Drenagem Urbana: Manual de Projeto**. São Paulo, 1980.
- FUNASA (Fundação Nacional de Saúde). **Caderno Temático: Drenagem e Manejo Das Águas Pluviais Urbanas**. Brasília: [s.n.], 2016.
- GOMES, P. C. C.; GETTU, R.; AGULLÓ, L. **Uma nova metodologia para obtenção de concretos auto-adensáveis de alta resistência com aditivos minerais**. V Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto, p. 1-14, 2003.
- HELENE, Paulo; TERZIAN, Paulo. **Manual de dosagem e controle do concreto**. Brasília, DF: PINI, 1992.
- KIMURA, A. **Informática aplicada em estruturas de concreto armado**. 1. ed. São Paulo: Pini, 2007.
- KURODA, Ristopher Yuity. **Análise Do Sistema De Drenagem Urbana: na região do parque de exposições Francisco Feio Ribeiro**, Maringá-PR. 2015. 127f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento De Engenharia Civil. Universidade Estadual De Maringá, Maringá.
- LI, W.H.; GEYER, J.C.; BENTON, G.S. **Flow into gutter inlets in a straight gutter without depression**, reimpresso de Sewage and Industrial Wastes, v. 23 n. 1, January, 1951.
- LI, W. H.; GOODELL, B. C.; GEYER, J. C. **Flow Into Depressed Combination Inlets**, reimpresso Sewage and Industrial Wastes, vol. 26, n. 8, August, 1954.
- MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 2. ed. São Paulo: Ibracon, 2008.

NEVILLE, A.M.; BROOKS, J.J. **Tecnologia do concreto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

OKAMURA, H.; OUCHI, M. **Self-compacting concrete**. *Journal of advanced concrete technology*, v. 1, n. 1, p. 5-15, 2003.

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

RECENA, F. A. P. **Dosagem empírica e controle da qualidade de concretos convencionais de cimento Portland**. 4. ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2002.

RODRIGUES, P. P. F. **Parâmetros de dosagem do concreto**. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998.

SILVA, B. L. A; OLIVEIRA, I. C. A; BUENO, L. L. N; SILVA, T. P. D; RODRIGUES, J. C. S; AMARANTE, M. S. **Conjunto de drenagem urbana nas cidades e sua importância na redução de inundações e enchentes**. *Revista Pesquisa e Ação*, v. 5, n. 2, p. 205-227, 2019.

SOUZA, P. A., **Eficiência hidráulica da boca de lobo**. Boletim 3. Centro Tecnológico de Hidráulica, DAEE, São Paulo, 1986.

TRATABRASIL. Instituto Trata Brasil. **Saneamento - O que é saneamento**. São Paulo, 2013. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/o-que-e-saneamento>. Acesso em 27 out. 2022.

VIERO, H. E., **Aplicação de areia de britagem de rochas basálticas na fabricação de concreto de cimento Portland**. 2010. 138 p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2010.