



UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ  
INSTITUTO DE ENGENHARIA DO ARAGUAIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

**MAX VINICIUS ESTEVES TORRES**

**ESTUDO DE DOSAGEM DE CONCRETO A PARTIR DA CARACTERIZAÇÃO  
DOS AGREGADOS DISPONÍVEIS EM SANTANA DO ARAGUAIA, PA**

Santana do Araguaia-Pa

2023

**MAX VINICIUS ESTEVES TORRES**

**ESTUDO DE DOSAGEM DE CONCRETO A PARTIR DA CARACTERIZAÇÃO  
DOS AGREGADOS DISPONÍVEIS EM SANTANA DO ARAGUAIA, PA**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à Faculdade de Engenharia Civil do Instituto de Engenharia do Araguaia da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

**Orientador:** Prof. Me. Marcus Vinicius Pereira de Freitas

Santana do Araguaia-Pa

2023

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará**  
**Biblioteca Setorial Campus do Instituto de Engenharia do Araguaia**

---

T693e Torres, Max Vinicius Esteves  
Estudo de dosagem de concreto a partir da caracterização dos agregados disponíveis em Santana do Araguaia, PA / Max Vinicius Esteves Torres. — 2023.  
56 f.: il. Color.

Orientador(a): Marcus Vinicius Pereira de Freitas.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Instituto de Engenharia do Araguaia, Faculdade de Engenharia Civil, Curso Bacharelado em Engenharia Civil, Santana do Araguaia, 2023.

1. Agregados (Materiais de construção) – Santana do Araguaia (PA). 2. Materiais de construção - Testes. 3. Construção de concreto. 4. Controle de qualidade (Engenharia). I. Freitas, Marcus Vinicius Pereira de, orient. II. Título.

CDD: 22. ed.: 553.62098115

**MAX VINICIUS ESTEVES TORRES**

**ESTUDO DE DOSAGEM DE CONCRETO A PARTIR DA CARACTERIZAÇÃO  
DOS AGREGADOS DISPONÍVEIS EM SANTANA DO ARAGUAIA, PA**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à Faculdade de Engenharia Civil do Instituto de Engenharia do Araguaia da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Data de aprovação: Santana do Araguaia (PA), \_\_\_\_ de \_\_\_\_ de 2023

Banca examinadora:

---

Prof.(a) Me. Marcus Vinicius Pereira de Freitas  
Orientador

---

Prof.(a) Dr.(a) Carlos Mavial de Carvalho  
Examinador Interno

---

Prof.(a) Me. Andre Margalho Daltro  
Examinador Interno

Aos meus avós, Maria e Lorisvaldo  
E aqueles que me incentivaram

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por ter dado força e saúde durante toda a trajetória acadêmica.

Agradeço também aos meus familiares, pelo total apoio a mim concedido ao longo do curso e pela compreensão nos momentos de ausência dedicados aos estudos.

Agradeço a todos os professores do Instituto de Engenharia do Araguaia, pela paciência e pelos ensinamentos partilhados.

Aos técnicos de laboratório do instituto, os meus agradecimentos por me auxiliarem quando precisei.

Agradeço ao professor Marcus Vinicius meu orientador pelos ensinamentos “pra vida”.

Também agradeço aqui, os colegas e amigos de curso, por toda a ajuda e o companheirismo.

Agradeço as empresas que contribuíram com material usado na dosagem do concreto.

Por fim, meu muito obrigado a todos que, de alguma forma, participaram e fizeram parte minha jornada acadêmica.

## RESUMO

Sendo o concreto um dos materiais mais utilizados no mundo, este trabalho busca contribuir significativamente para a produção de concreto de qualidade na região de Santana do Araguaia, no Pará. Os traços e dosagens foram desenvolvidos com base em materiais locais, visando atender à resistência característica de 25 MPa, de acordo com a classe de agressividade moderada e urbana indicada pela Norma Brasileira 12655, e reduzir o consumo de cimento, assim como os custos de produção. A mistura de matérias-primas que compõem o concreto apresenta diferentes parâmetros e características, o que pode comprometer as exigências de projeto em um traço econômico, durável e com resistência mecânica adequada para cada tipo de obra na construção civil. Neste trabalho, foi realizado um estudo de dosagem experimental, de acordo com o método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), após a caracterização dos agregados locais que obtiveram um módulo de finura (Mf) para a areia de 2,52 e diâmetro máximo característico (DMC), além da obtenção de um slump de 80 mm  $\pm$  20 mm, além da resistência citada anteriormente para o concreto produzido, sendo possível em aplicações estruturais, como vigas e pilares. Após a elaboração dos traços, o concreto foi produzido em betoneira, e os corpos de prova (CPs) foram moldados para serem submetidos a cura e ensaiados para aferição de sua resistência à compressão em idades de 3, 7, 14 e 28 dias. Os dados obtidos foram correlacionados em um gráfico, observando a curva de ganho de resistência em relação ao fator água/cimento. Os resultados mostraram que apenas dois dos traços elaborados alcançaram resistências satisfatórias, demonstrando a importância de uma dosagem adequada para obter a resistência desejada. Espera-se que este estudo contribua para a produção eficiente e econômica de concreto de qualidade na região, com base em seus próprios recursos e agregados locais.

**Palavras-chave:** Traço; Agregados; Resistência mecânica.

## ABSTRACT

Since concrete is one of the most widely used materials in the world, this study aims to significantly contribute to the production of quality concrete in the Santana do Araguaia region, in the state of Pará, Brazil. The mix proportions and dosages were developed based on local materials, aiming to meet the characteristic strength of 25 MPa, according to the class of moderate and urban aggressiveness indicated by Brazilian Standard 12655, while also reducing cement consumption and production costs. The mixture of raw materials composing the concrete presents different parameters and characteristics, which can compromise the project requirements in an economic, durable mix with suitable mechanical strength for each type of construction work in the civil engineering field. In this study, an experimental dosage study was conducted, following the method of the Brazilian Portland Cement Association (ABCP), after characterizing the local aggregates that obtained a fineness modulus (M<sub>f</sub>) of 2.52 for sand and a characteristic maximum diameter (DMC). In addition to achieving a slump of 80 mm ± 20 mm and the previously mentioned concrete strength, making it suitable for structural applications such as beams and pillars. After formulating the mixes, the concrete was produced in a concrete mixer, and the specimens (CPs) were molded to undergo curing and testing to assess their compressive strength at ages of 3, 7, 14, and 28 days. The obtained data were correlated in a graph, observing the strength gain curve concerning the water/cement ratio. The results showed that only two of the developed mixes achieved satisfactory strengths, demonstrating the significance of proper dosage to attain the desired strength. It is hoped that this study will contribute to the efficient and cost-effective production of quality concrete in the region, utilizing its own resources and local aggregates.

**Keywords:** Trait; Aggregates; Mechanical resistance.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Agregados para concreto .....	18
Figura 2 – Curva de Walz para resistência aos 28 dias .....	24
Figura 3 – Ensaio de abatimento.....	27
Figura 4 – Prensa hidráulica fazendo ensaio de resistência em corpo de prova.....	29
Figura 5 – Mapa de referência do local de estudo .....	31
Figura 6 – Tipos de cimentos utilizados. ....	32
Figura 7 – Peneiras sobre o agitador mecânico durante o ensaio. ....	33
Figura 8 – Execução do método e aferição da massa unitária da areia.....	35
Figura 9 – Execução do método e aferição da massa unitária do seixo rolado misto. .....	35
Figura 10 – Execução do método e aferição da massa unitária da brita.....	36
Figura 11 – Agregados graúdos imersos para preenchimento dos vazios com água. .....	36
Figura 12 – Secagem de umidade superficial do agregado. ....	37
Figura 13 – Aferição de massa imersa em água e secagem em estufa.....	37
Figura 14 – A esquerda areia saturada, a direita saturada superfície seca. ....	38
Figura 15 – Pesagem da amostra em recipiente volumétrico e secagem em estufa.	39
Figura 16 – Amostra de para teor de umidade e secagem em estufa.....	40
Figura 17 – Materiais para produção do 1º traço de concreto.....	42
Figura 18 – Materiais para produção do 6º traço de concreto.....	42
Figura 19 – Execução da mistura de concreto utilizando betoneira. ....	42
Figura 20 – Execução do método de ensaio de slump test. ....	43
Figura 21 – Preparação e cura dos corpos de prova (CP's).....	43
Figura 22 – Primeiro CP a ser realizado ensaio de compressão.....	44
Figura 23 – Verificação visual no interior do CP.....	44
Figura 24 – Gráfico de correlação entre limites de zonas utilizáveis, ótimas e areia analisada.....	45
Figura 25 – Aferição do pH da água de amassamento. ....	49
Figura 26 - Gráfico de curva de resistência a compressão dado a idade.....	52
Figura 27 - Gráfico de correlação da resistência x fator a/c. ....	52

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classes e resistência para fins estruturais .....	17
Tabela 2 – Tipos de ensaios x Normas .....	18
Tabela 3 – Limites de distribuição granulométrica do agregado miúdo.....	19
Tabela 4 – Limites de composição granulométrica do agregado graúdo. ....	19
Tabela 5 – Tipos de cimento, designação normalizada, sigla e classe do cimento Portland.....	20
Tabela 6 – Classes de agressividade ambiental .....	22
Tabela 7 – Desvio padrão a ser adotado .....	23
Tabela 8 – Relação a/c e a classe de agressividade para resistência requerida .....	24
Tabela 9 – Consumo de água l/m <sup>3</sup> em relação ao abatimento por granulometria.....	25
Tabela 10 – Volume de agregado graúdo (Vcs) compactado seco por m <sup>3</sup> .....	25
Tabela 11 – Classes de consistências .....	28
Tabela 12 – Valores obtidos durante ensaio de peneiramento da areia fina.....	33
Tabela 13 – Valores obtidos durante ensaio de peneiramento da areia grossa.....	33
Tabela 14 – Valores obtidos durante ensaio peneiramento do seixo.....	34
Tabela 15 – Valores obtidos durante ensaio peneiramento do brita. ....	34
Tabela 16 – Materiais e parâmetros de dosagem .....	41
Tabela 17 – Diâmetro máximo característico e Módulo de finura do agregado miúdo .....	46
Tabela 18 – Diâmetro máximo característico e Módulo de finura do agregado graúdo .....	46
Tabela 19 – Massas unitárias dos agregados .....	47
Tabela 20 – Peso específico aparente médio de materiais de armazenagem segundo NBR 6120.....	47
Tabela 21 – Densidade dos agregados.....	48
Tabela 22 – Teor de umidade das areias .....	48
Tabela 23 – Resultados do método de dosagem ABCP com proporções de agregados, relação a/c e teor de argamassa obtidos para cada traço.....	50
Tabela 24 – Consistência obtida em cada traço.....	51
Tabela 25 – Resistências (Mpa) obtidas de cada traço em relação a sua idade.....	51

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CP	Corpos de Prova
fck	Resistência característica do concreto à compressão
fc <sub>mj</sub>	Resistência média do concreto à compressão aos j dias
MPa	Mega Pascal
NBR	Norma Brasileira

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>14</b>
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>15</b>
<b>3.1</b>	<b>Objetivo geral</b> .....	<b>15</b>
<b>3.2</b>	<b>Objetivos específicos</b> .....	<b>15</b>
<b>4</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b> .....	<b>16</b>
<b>4.1</b>	<b>O concreto</b> .....	<b>16</b>
4.1.1	Resistência à compressão do concreto .....	16
4.1.2	Agregados.....	17
4.1.2.1	Ensaios de caracterização dos agregados .....	18
4.1.3	Cimento Portland .....	20
4.1.4	Água de amassamento .....	21
4.1.5	Traço (método de dosagem) e propriedades .....	21
4.1.5.1	Fator água/cimento .....	23
4.1.5.2	Consumo de cimento .....	24
4.1.5.3	Consumo de agregado graúdo.....	25
4.1.5.4	Consumo de agregado miúdo.....	26
4.1.5.5	Traço unitário .....	27
4.1.6	Consistência .....	27
4.1.7	Corpos de prova.....	28
4.1.7.1	Preparo e cura .....	28
4.1.7.2	Ensaio de compressão axial .....	29
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA DE TRABALHO</b> .....	<b>30</b>
<b>5.1</b>	<b>Escolha e coleta de materiais</b> .....	<b>31</b>
<b>5.2</b>	<b>Caracterização do agregado graúdo e agregado miúdo</b> .....	<b>32</b>
5.2.1	Ensaio de granulometria .....	32
5.2.2	Ensaio de Massa unitária.....	34
5.2.3	Ensaio de densidade para o agregado graúdo .....	36
5.2.4	Ensaio de densidade para o agregado miúdo.....	38
5.2.5	Ensaio de teor de Umidade.....	40
<b>5.3</b>	<b>MÉTODO DE DOSAGEM TEÓRICO DOS TRAÇOS</b> .....	<b>41</b>
5.3.1	Execução da mistura de concreto .....	41

5.3.2	Ensaio de consistência .....	43
5.3.3	Preparação dos corpos de prova .....	43
5.3.4	Ensaio de resistência a compressão por força axial .....	44
<b>6</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>45</b>
<b>6.1</b>	<b>Dados obtidos a partir da caracterização dos agregados.....</b>	<b>45</b>
6.1.1	Granulometria .....	45
6.1.2	Massa Unitária .....	46
6.1.3	Densidade.....	47
6.1.4	Teor de Umidade .....	48
6.1.5	Água de amassamento .....	48
<b>6.2</b>	<b>Dosagem experimental e aferição das propriedades requeridas .....</b>	<b>49</b>
6.2.1	Slump test (Consistência) .....	51
6.2.2	Resistencia Característica à Compressão .....	51
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>53</b>
<b>7.1</b>	<b>Considerações acerca do estudo desenvolvido .....</b>	<b>53</b>
<b>7.2</b>	<b>Sugestões para trabalhos futuros .....</b>	<b>54</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>55</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A carência de controle tecnológico e desconhecimento na dosagem do concreto pode afetar adversamente as armaduras, reduzir a vida útil e levar a problemas de deterioração. É imprescindível realizar um estudo de traço de concreto de qualidade apontando a dosagem ideal com base em uma caracterização detalhada dos agregados disponíveis em determinada região, considerando as propriedades físicas e mecânicas.

A hipótese central é que a elaboração de um traço com proporções conhecidas de cada componente garante o correto desempenho do concreto e isso inclui a resistência mecânica necessária e a durabilidade do material e sua capacidade de proteger as armaduras contra deterioração. Além disso a análise dos resultados, especialmente correlacionando parâmetros como relação água/cimento e resistência à compressão, fornecerá informações valiosas para orientar a dosagem adequada e garantir a vida útil das construções no município.

Então a identificação de melhores práticas, podem ajudar a indústria da construção local a alcançar maior controle tecnológico, evitando problemas de deterioração, garantindo a integridade das armaduras e aumentando a segurança e a eficiência das estruturas construídas em Santana do Araguaia. Além disso, contribuirá para a sustentabilidade e a confiabilidade, trazendo benefícios como menos manutenções nas edificações e para a comunidade em geral.

## 2 JUSTIFICATIVA

A maioria das obras no município não possui controle tecnológico adequado, e muitos profissionais do setor da construção não sabem como produzir concreto com resistência à compressão ( $f_{ck}$ ) mínimo, e não conhecem as características dos agregados disponíveis.

A caracterização dos materiais disponíveis na região é fundamental para a produção de concreto de qualidade, uma vez que as propriedades dos agregados e interferem diretamente na qualidade do concreto. A elaboração de uma carta traço pode ajudar a selecionar a proporção adequada de cada componente para obter as propriedades desejadas, considerando as características específicas dos materiais disponíveis. Desta maneira, é necessário realizar experimentos em laboratório,

caracterizando os agregados disponíveis, e testando diferentes proporções de cada componente para produzir misturas de concreto. Logo, será possível avaliar a resistência à compressão e a trabalhabilidade, propriedades importantes do concreto.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo geral**

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver uma carta traço utilizando agregados de origem no município de Santana do Araguaia-Pa.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Realizar ensaios de caracterização dos agregados da região de Santana do Araguaia que serão utilizados no concreto;
- Calcular a dosagem de traços com diferentes resistências, a fim de se obter a quantidade de agregados para uma determinada faixa de resistência.
- Realizar estudo de dosagem experimental para a correção dos traços
- Realizar ensaios de compressão axial para determinar a resistência à compressão do concreto com 3, 7, 14 e 28 dias;
- Elaborar gráficos que correlacionam os parâmetros principais do concreto: relação água/cimento e resistência à compressão;

## 4 DESENVOLVIMENTO

### 4.1 O concreto

O concreto é um dos materiais mais utilizados na construção civil, devido às suas características de resistência e durabilidade, perdendo apenas para água. Segundo Neville e Brooks (2013), o concreto é composto por vários tipos de cimentos, agregados miúdos e graúdos, água e aditivos, sendo que a proporção desses ingredientes varia de acordo com a finalidade do concreto.

Neville (2015), também destaca que o concreto é um material que possui uma série de propriedades, como a resistência à compressão, a durabilidade, entre outras. Para que um concreto possa preencher bem os vazios, em seu estado fresco, ele precisa estar com boa plasticidade. Botelho (2018) diz que é possível controlar isso através da seleção dos tipos de agregados e por meio do teor de água na mistura, e mede-se esta trabalhabilidade pelo método de abatimento do cone (*slump test*).

O concreto no seu estado endurecido é exigido uma resistência a compressão satisfatória para atender especificações de projeto, atendimento aos parâmetros normativos e de durabilidade. Botelho (2018), também afirma que a resistência à compressão é uma maneira fácil de verificar o atendimento às especificações e obrigações contratuais.

#### 4.1.1 Resistência à compressão do concreto

A resistência do concreto é uma das suas principais características. Segundo Mehta e Monteiro (2014), a resistência do concreto está diretamente relacionada à sua microestrutura, que por sua vez é influenciada por fatores como a relação água/cimento, a porosidade e a permeabilidade.

Conforme visto até aqui, a resistência à compressão axial do concreto se torna seu maior parâmetro de medição e classificação. Desse modo Neville e Brooks (2013) colocam que ao alcançar uma resistência ideal, admite-se que não houve interferência nas propriedades.

A Norma Brasileira (NBR) 6118/2014 prescreve a resistência obtida em ensaios de corpos cilíndricos, moldados de acordo com a NBR 5738 e rompidos conforme a NBR 5739.



Conforme estabelecido pela NBR 8953, a resistência característica à compressão  $f_{ck}$  para fins estruturais é separada em dois grupos, I e II, conforme apresentado na Tabela 1. É importante destacar que os concretos com classe de resistência inferior a C20 (20 MPa) não são consideradas. Caso sejam utilizados, é necessário garantir que seu desempenho esteja de acordo com as normas NBR 6118 e NBR 12655.

Tabela 1 – Classes e resistência para fins estruturais

Classe de resistência Grupo I	Resistência característica à compressão MPa	Classe de resistência Grupo II	Resistência 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	C100	100
C50	50		

Fonte: NBR 8953/2015

#### 4.1.2 Agregados

Segundo Bauer (2008) os agregados, são formados de partículas finas até se transformarem em sólidos maiores com diferentes granulometrias, não tem coesão e são inertes. Para Neville e Brooks (2013) os agregados ocupam entre 70% e 75% do volume da mistura e a qualidade desse material é bastante relevante no desempenho do concreto.

Quando se quer atingir elevada resistência do concreto deve-se ater a influência do agregado gráudo com texturas superficiais rugosas como a brita, esta oferece maior resistência à compressão ao concreto do que agregados com textura superficial lisa como o seixo rolado observado na Figura 1 a).

Mehta e Monteiro (2014) afirmam que agregados alongados e angulosos podem precisar de maiores quantidades de cimento para atingir melhor trabalhabilidade. Bauer (2008) completa afirmando existir agregados lamelares e, os cúbicos visto na Figura 1 b), sendo o mais indicado para confecção de concreto.

Os agregados miúdos como areias, ver Figura 1 c), de certo modo, não mais que o cimento por causa de seu módulo de finura, têm boa influência na qualidade do concreto por possuir uma área bastante abrangente. Qualquer alteração na quantidade deste agregado pode influir significativamente no consumo de água e no consumo de cimento, tornando o produto com um custo elevado e principalmente influir na resistência à compressão.

Figura 1 – Agregados para concreto



#### 4.1.2.1 Ensaios de caracterização dos agregados

Os ensaios para a de caracterização da brita (agregado graúdo) são de granulometria, massa unitária e massa específica (densidade), já para a areia (agregado miúdo) o ensaio de granulometria, massa específica (densidade), massa unitária e teor de umidade, de acordo com as normas vigentes para agregados para concreto encontradas na NBR 7211/2022. Ver Tabela 2.

Tabela 2 – Tipos de ensaios x Normas

Ensaio / Agregado	Teor de umidade	Granulometria	Massa unitária	Densidade
Areia	NBR 6467/2006	NBR 17054/2022 7211/2022	NBR 16972/2021	NBR 16916/2021
Brita ou Seixo	-			NBR 16917/2021

Fonte: Autor (2023)

Para os ensaios de granulometria a partir dos dados obtidos segundo a NBR 7211/2022 pode-se avaliar de acordo com as Tabela 3 e 4 para os limites para

formação granulométrica do agregado miúdo, e as zonas de granulometria do agregado graúdo.

Tabela 3 – Limites de distribuição granulométrica do agregado miúdo.

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 $\mu\text{m}$	15	35	55	70
300 $\mu\text{m}$	50	65	85	95
150 $\mu\text{m}$	85	90	95	100

NOTA 1 O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20.  
 NOTA 2 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90.  
 NOTA 3 O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50.

Fonte: NBR 7211/2022

Tabela 4 – Limites de composição granulométrica do agregado graúdo.

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada				
	Zona granulométrica $d/D^a$				
	4,75/12,5	9,5/25	19/31,5	25/50	37,5/75
75 mm	–	–	–	–	0 – 5
63 mm	–	–	–	–	5 – 30
50 mm	–	–	–	0 – 5	75 – 100
37,5 mm	–	–	–	5 – 30	90 – 100
31,5 mm	–	–	0 – 5	75 – 100	95 – 100
25 mm	–	0 – 5	5 – 25 <sup>b</sup>	87 – 100	–
19 mm	–	2 – 15 <sup>b</sup>	65 <sup>b</sup> – 95	95 – 100	–
12,5 mm	0 – 5	40 <sup>b</sup> – 65 <sup>b</sup>	92 – 100	–	–
9,5 mm	2 – 15 <sup>b</sup>	80 <sup>b</sup> – 100	95 – 100	–	–
6,3 mm	40 <sup>b</sup> – 65 <sup>b</sup>	92 – 100	–	–	–
4,75 mm	80 <sup>b</sup> – 100	95 – 100	–	–	–
2,36 mm	95 – 100	–	–	–	–

<sup>a</sup> Zona granulométrica correspondente à menor ( $d$ ) e à maior ( $D$ ) dimensões do agregado graúdo.  
<sup>b</sup> Em cada zona granulométrica, deve ser aceita uma variação de no máximo cinco unidades percentuais em apenas um dos limites marcados com a Nota de rodapé b. Essa variação pode também estar distribuída em vários desses limites.  
 NOTA 1 O módulo de finura da zona 4,75/12,5 varia de 5,77 a 6,15.  
 NOTA 2 O módulo de finura da zona 9,5/25 varia de 6,77 a 7,15.  
 NOTA 3 O módulo de finura da zona 19/31,5 varia de 7,60 a 7,95.  
 NOTA 4 O módulo de finura da zona 25/50 varia de 8,00 a 8,30.  
 NOTA 5 O módulo de finura da zona 37,5/75 varia de 8,90 a 9,05.

Fonte: NBR 7211/2022

### 4.1.3 Cimento Portland

De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), o cimento é um pó fino com propriedades aglomerantes, e endurece ao ser exposto à umidade. Neville (2015) complementa que o cimento é um material possuidor de propriedades adesivas e coesivas que unem fragmentos minerais para formação de um produto melhorado.

Ainda de acordo com ABCP existem diversos tipos de cimento no mercado que se diferenciam de acordo com a proporção de clínquer, sulfatos de cálcio e de adições como escórias, pozolanas e material carbonático (fíler calcário).

A NBR 16697/2018 normatiza as composições produzidas para cada finalidade. A Tabela 5 mostra as variabilidades de cimentos normatizados e a escolha do cimento a ser utilizado acontece segundo alguns critérios de projeto podendo ser resistência que o concreto deve atingir, rapidez na desforma ou até proteção contra agentes químicos e biológicos.

Tabela 5 – Tipos de cimento, designação normalizada, sigla e classe do cimento Portland

Designação normalizada (tipo)	Subtipo	Sigla	Classe de resistência	Sufixo
Cimento Portland comum	Sem adição	CP I	25, 32 ou 40 <sup>c</sup>	RS <sup>a</sup> ou BC <sup>b</sup> –
	Com adição	CP I-S		
Cimento Portland composto	Com escória granulada de alto forno	CP II-E		
	Com material carbonático	CP II-F		
	Com material pozolânico	CP II-Z		
Cimento Portland de alto-forno		CP III		
Cimento Portland pozolânico		CP IV		
Cimento Portland de alta resistência inicial		CP V	ARI <sup>d</sup>	
Cimento Portland branco	Estrutural	CPB	25, 32 ou 40 <sup>c</sup>	
	Não estrutural	CPB	–	–

<sup>a</sup> O sufixo RS significa resistente a sulfatos e se aplica a qualquer tipo de cimento Portland que atenda aos requisitos estabelecidos em 5.3, além dos requisitos para seu tipo e classe originais.

<sup>b</sup> O sufixo BC significa baixo calor de hidratação e se aplica a qualquer tipo de cimento Portland que atenda aos requisitos estabelecidos em 5.4, além dos requisitos para seu tipo e classe originais.

<sup>c</sup> As classes 25, 32 e 40 representam os valores mínimos de resistência à compressão aos 28 dias de idade, em megapascals (MPa), conforme método de ensaio estabelecido pela ABNT NBR 7215.

<sup>d</sup> Cimento Portland de alta resistência inicial, CP V, que apresenta a 1 dia de idade resistência igual ou maior que 14 MPa, quando ensaiado de acordo com a ABNT NBR 7215 e atende aos demais requisitos estabelecidos nesta Norma para esse tipo de cimento.

Fonte: NBR 16697/2018

#### 4.1.4 Água de amassamento

A água é um dos ingredientes essenciais na formulação do concreto, desempenhando um papel fundamental no processo de hidratação do cimento. Na mistura do concreto, a água é adicionada para facilitar a reação química entre o cimento e os outros componentes, como a areia e a brita. A quantidade de água na mistura de concreto é um dos fatores críticos que influenciam a resistência e a durabilidade do produto.

Quando se fala de água para concreto, segundo a Norma Brasileira (NBR) 15900-1, a água utilizada para amassamento de concreto deve apresentar pH superior a 5,0 e teores de sulfato acima de 2000 mg/L pois, abaixo desta faixa é inadequada se tratando de uma água ácida.

As etapas primordiais da produção do concreto incluem o uso da água em várias fases, como a lavagem dos agregados, o amassamento do concreto, a cura e a limpeza dos equipamentos utilizados. Neville (2013) ressalta a importância da qualidade da água nesse processo é fundamental, além disso deve-se garantir que a água esteja livre de impurezas, uma vez que estas podem interferir na aderência do cimento, afetar a resistência do concreto e causar manchas em sua superfície, podendo também levar a corrosão das armaduras.

#### 4.1.5 Traço (método de dosagem) e propriedades

De acordo com Helene e Terzian (1992), cabe ao tecnologista de concreto conciliar as exigências de projeto e reduzir custos a fim de se obter um concreto mais econômico possível. Entende-se então por dosagem a proporcionalidade adequada dos materiais constituintes: cimento, agregado miúdo, agregado graúdo, água e eventualmente aditivos.

Os pré-requisitos básicos a serem avaliados:

- Exigências de projeto;
- Condições de exposição e operação;
- Tipo de agregado disponível;
- Técnicas de execução;
- Economicamente viável;

É possível afirmar que a dosagem abrange um amplo conhecimento das propriedades do concreto. Helene e Terzian (1992), afirmam que as propriedades funcionais do concreto endurecido, como resistência, durabilidade e aparência, são asseguradas se a trabalhabilidade do concreto fresco for compatível com as condições de trabalho.

A escolha dos materiais, a proporção dos ingredientes e o processo de execução são fatores determinantes para garantir as propriedades desejadas do concreto. Logo se destaca a resistência do concreto fresco exigido de acordo com a finalidade de execução observados na Tabela 6 segundo a NBR 12655.

Tabela 6 – Classes de agressividade ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana <sup>a, b</sup>	Pequeno
III	Forte	Marinha <sup>a</sup>	Grande
		Industrial <sup>a, b</sup>	
IV	Muito forte	Industrial <sup>a, c</sup>	Elevado
		Respingos de maré	

<sup>a</sup> Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

<sup>b</sup> Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.

<sup>c</sup> Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes e indústrias químicas.

Fonte: NBR 12655

Na dosagem, a NBR 12655 estabelece que a composição de cada concreto de classe C20 ou superior deve ser racional e experimental, e prevista de acordo o tipo ou classe do cimento, na procedência e qualidade dos agregados e demais materiais.

O método ABCP de dosagem de concreto é um procedimento que utiliza uma série de fórmulas e gráficos para determinar a dosagem adequada dos agregados que compõem o concreto. Esse método leva em consideração o tipo de cimento utilizado, a resistência do concreto desejado, a granulometria dos agregados e a relação

água/cimento. Para a resistência de dosagem a norma expressa a equação abaixo, equação 1.

$$f_{cmj} = f_{ckj} + 1,65 * sd \quad (\text{Equação 1})$$

Onde

$f_{cmj}$  = resistência média do concreto à compressão, prevista para a idade de  $j$  dias;

$f_{ckj}$  = resistência característica do concreto à compressão, aos  $j$  dias;

$sd$  = desvio-padrão da dosagem;

Para valores de  $sd$  a Tabela 7 segundo a NBR 12655.

Tabela 7 – Desvio padrão a ser adotado

Condição de preparo	Classe	Procedimento	Sd
A	C10 a C100	o cimento e os agregados são medidos em massa, a água de amassamento é medida em massa ou volume com dispositivo dosador e corrigida em função da umidade dos agregados	4,0
B	C10 a C20	o cimento é medido em massa, a água de amassamento é medida em volume mediante dispositivo dosador e os agregados medidos em massa combinada com volume	5,5
C	C10 a C15	o cimento é medido em massa, os agregados são medidos em volume, a água de amassamento é medida em volume e a sua quantidade é corrigida em função da estimativa da umidade dos agregados	7,0

Fonte: NBR 12655

#### 4.1.5.1 Fator água/cimento

O uso excessivo de água na mistura de concreto pode levar a problemas como a segregação, a fissuração e a perda de resistência. Por outro lado, uma quantidade insuficiente de água pode dificultar a reação química e levar à formação de poros e bolhas no concreto.

Por essa razão, a proporção correta de água deve ser cuidadosamente determinada de acordo com as características do cimento e dos agregados utilizados, bem como das condições ambientais do local da construção. Ver Tabela 8.

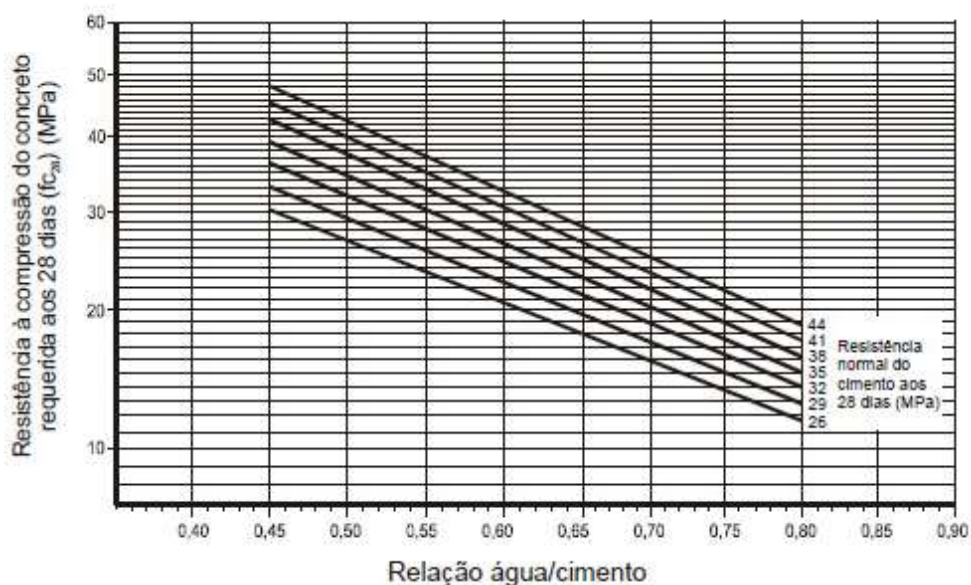
Tabela 8 – Relação a/c e a classe de agressividade para resistência requerida

Concreto	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
	CP	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$
Consumo de cimento Portland por metro cúbico de concreto $\text{kg/m}^3$	CA e CP	$\geq 260$	$\geq 280$	$\geq 320$	$\geq 360$
CA Componentes e elementos estruturais de concreto armado.					
CP Componentes e elementos estruturais de concreto protendido.					

Fonte: NBR 12655/2022

Para Helene e Terzian (1992), o fator água/cimento é um dos principais parâmetros que influenciam na resistência e na durabilidade do concreto. Esta relação deve ser controlada de forma a garantir a trabalhabilidade do concreto sem comprometer a resistência e a durabilidade do material. A relação a/c compreende os parâmetros de projeto e pode ser obtida por meio da Curva de Walz, Figura 2.

Figura 2 – Curva de Walz para resistência aos 28 dias



Fonte: Rodrigues (1998)

#### 4.1.5.2 Consumo de cimento

De maneira geral, o método ABCP de dosagem de concreto busca encontrar a relação água/cimento mais adequada para cada situação, levando em conta a



resistência do concreto desejado e a granulometria dos agregados. Com base nessa relação da Tabela 9, é possível calcular a quantidade de cimento necessária para produzir a mistura de concreto desejada.

Tabela 9 – Consumo de água l/m<sup>3</sup> em relação ao abatimento por granulometria

Slump \ DMC	9,5 mm	19 mm	25 mm	32 mm	38 mm
40 a 60 mm	220	195	190	185	180
60 a 80 mm	225	200	195	190	185
80 a 100 mm	230	205	200	200	190

Fonte: adaptado de TORALLES (2018)

Para estimar o consumo de cimento de acordo com a Equação 2, correlaciona-se o consumo de água com DMC e *slump* na Tabela 9.

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

Onde

$C_a$  = consumo de água (l/m<sup>3</sup>)

$C_c$  = consumo de cimento (kg)

$a/c$  = relação água cimento

#### 4.1.5.3 Consumo de agregado graúdo

Assim como o consumo de cimento, o consumo de agregado graúdo também varia de acordo com o método ABCP de dosagem de concreto. A dosagem utiliza a análise granulométrica do agregado graúdo (DMC) e do agregado miúdo (Mf), observados na Tabela 10 para determinar a quantidade ideal a ser utilizada na mistura.

Tabela 10 – Volume de agregado graúdo (Vcs) compactado seco por m<sup>3</sup>

Mf \ DMC	9,5 mm	19 mm	25 mm	31,5 mm	37,5 mm
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780	0,780
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	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

Fonte: adaptado de TORALLES (2018)

Após a análise granulométrica é possível calcular o consumo de agregado graúdo acordo com a Equação 3 correlacionando o DMC e o Mf na Tabela 10.

$$C_{ag} = V_{cs} * \delta_{\text{gráúdo compac.}} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde

$C_{ag}$  = consumo de agregado graúdo (kg)

$V_{cs}$  = volume de agregado graúdo compactado seco ( $m^3$ )

$\delta_{\text{gráúdo compac.}}$  = Massa unitária do agregado graúdo seco ( $kg/m^3$ )

#### 4.1.5.4 Consumo de agregado miúdo

Assim como no caso do agregado graúdo, o método ABCP utiliza a análise granulométrica do agregado miúdo para determinar a quantidade ideal a ser utilizada na mistura. Além disso, é importante considerar a umidade do agregado miúdo, que pode influenciar na quantidade de água a ser adicionada na mistura para atingir a relação água/cimento adequada.

Logo, pela Equação 4 encontra-se o volume de agregado miúdo.

$$V_{\text{areia}} = 1 - \left( \frac{C_c}{\gamma_c} + \frac{C_{ag}}{\gamma_{ag}} + \frac{C_a}{\gamma_a} \right) \quad (\text{Equação 4})$$

Onde

$V_{\text{areia}}$  = volume de areia ( $m^3$ )

$C_a$  = consumo de água ( $l/m^3$ )

$C_c$  = consumo de cimento ( $kg/m^3$ )

$C_{ag}$  = consumo de agregado graúdo (kg)

$\gamma_c$  = peso específico do cimento ( $kg/m^3$ )

$\gamma_{ag}$  = peso específico do agregado graúdo ( $kg/m^3$ )

$\gamma_a$  = peso específico da água ( $kg/m^3$ )

Assim o consumo de agregado miúdo pode ser determinado pela Equação 5.

$$C_{am} = V_{\text{areia}} * \gamma_m \quad (\text{Equação 5})$$

Onde

$C_{am}$  = consumo de agregado miúdo (kg)

$\gamma_m$  = peso específico do agregado miúdo (kg/m<sup>3</sup>)

#### 4.1.5.5 Traço unitário

O traço unitário representa a quantidade de materiais em kg necessários para produzir o concreto. O método ABCP utiliza a relação dos materiais calculados para determinar o traço final da mistura a ser dosada a partir da Equação 6.

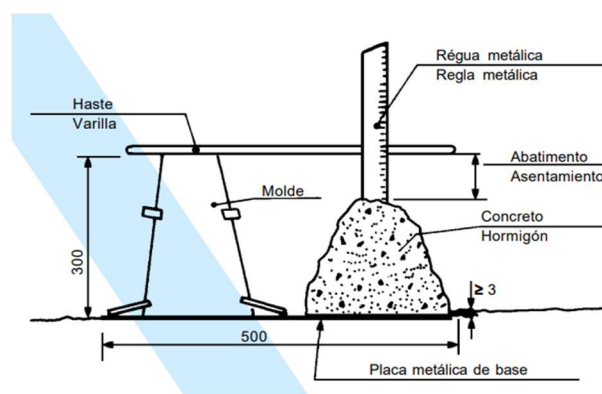
$$1: \frac{C_{am}}{C_c} : \frac{C_{ag}}{C_c} : \frac{C_a}{C_c} \quad (\text{Equação 6})$$

#### 4.1.6 Consistência

O abatimento, também conhecido como *slump test*, é uma medida da trabalhabilidade do concreto, e determinado pela diferença de altura entre o tronco de cone e a parte superior do concreto após a retirada dele. O abatimento influencia diretamente na resistência do concreto, sendo que valores elevados de abatimento podem comprometer as propriedades mecânicas e de durabilidade do material.

O ensaio é normalizado pela NBR 16889/2020 e consiste em 3 camadas sucessivas de concreto dentro do cone e recebe quantidades de 25 golpes definidas com uma haste de diâmetro específico para uma melhor conformação do material. Retira-se o cone e mede-se o abatimento ilustrado na Figura 3.

Figura 3 – Ensaio de abatimento



Fonte: NBR 16889/2020

De acordo com Bauer (2008), este ensaio é de grande importância para controlar a qualidade do produto pois, com o slump conhecido é possível corrigir uma situação que satisfaz o resultado esperado. E a simplicidade deste ensaio torna-o de fácil emprego do controle tecnológico em qualquer canteiro de obras.

A NBR 8953 classifica o concreto em estado fresco de acordo o abatimento obtido em ensaio e define possíveis aplicações como mostra a Tabela 11.

Tabela 11 – Classes de consistências

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: NBR 8953/2015

#### 4.1.7 Corpos de prova

##### 4.1.7.1 Preparo e cura

A NBR 5738 é uma norma técnica que estabelece os procedimentos para moldagem e cura de corpos de prova de concreto utilizados para teste resistência à compressão. Esses corpos de prova são cilíndricos ou prismáticos e têm dimensões específicas definidas pela norma. A moldagem e a cura desses corpos de prova são processos fundamentais para a obtenção de resultados precisos e motivados sobre a qualidade do concreto utilizado em uma obra.

De acordo com a NBR 5738, o processo de moldagem dos corpos de prova deve ser realizado com rigoroso controle de qualidade. Os moldes utilizados devem ser de metal ou de material plástico rígido e limpo antes da moldagem. O concreto utilizado deve ser misturado de forma adequada e deve ser compactado para garantir a homogeneidade e a uniformidade da mistura.

Após a moldagem dos corpos de prova, é necessário realizar a cura do concreto. A NBR 5738 define que a cura deve ser iniciada imediatamente após a

desmoldagem, e que o método de cura ecológica é o mais indicado para a cura deles. Esse método consiste em manter os corpos de prova imersos em água ou em um ambiente saturado com umidade durante um período mínimo de três dias.

Além disso, a NBR 5738 estabelece que a cura dos corpos de prova deve ser realizada em uma temperatura controlada entre 20°C e 25°C. Essa temperatura é importante para garantir que o processo de hidratação do cimento gerado de forma adequada e para evitar a evaporação excessiva da água durante o processo de cura.

A norma também define que os corpos de prova devem ser identificados de forma clara e que as informações sobre a moldagem e a cura dos corpos de prova devem ser registradas em um relatório.

Por fim, a NBR 5738 define que os corpos de prova devem ser ensaiados em uma idade mínima de 28 dias para a resistência à compressão. Essa é a idade em que se espera que o concreto tenha atingido a sua resistência máxima.

#### 4.1.7.2 Ensaio de compressão axial

A NBR 5739 é uma norma técnica que estabelece os procedimentos para ensaio de corpos de prova cilíndricos de concreto. Esses corpos de prova são moldados e curados de acordo com a NBR 5738 e o ensaio de compressão é realizado para determinar a resistência à compressão do concreto observado na Figura 4.

Figura 4 – Prensa hidráulica fazendo ensaio de resistência em corpo de prova



Fonte: autor (2023)

De acordo com a NBR 5739, os corpos de prova de concreto podem ser ensaiados em uma idade de 24 h, 3 dias, 7 dias, 28 dias após a moldagem. Antes do ensaio, os corpos de prova devem ser verificados quanto às suas dimensões e quanto à presença de defeitos, como trincas ou falhas na superfície.

Para o ensaio, os corpos de prova devem ser posicionados verticalmente na máquina de ensaio, de forma a garantir que a carga seja aplicada axialmente e que o contato com as placas de apoio seja uniforme. A norma define ainda que a carga deve ser aplicada de forma progressiva e contínua, sem choques ou impactos, até a ruptura do corpo de prova.

Por fim, a NBR 5739 orienta que os resultados obtidos devem ser calculados por meio da Equação 7, e expressos em mega pascal (MPa), em que a resistência à compressão média do concreto deve ser contínua com base nos resultados obtidos. Esse resultado é usado como parâmetro para avaliação da qualidade do concreto usado em uma obra e para verificação do cumprimento das especificações técnicas.

$$f_c = \frac{4F}{\pi * D^2} \quad (\text{Equação 7})$$

Onde

$f_c$  é a resistência à compressão, em mega pascal (MPa);

$F$  é a força máxima alcançada, em newtons (N);

$D$  é o diâmetro do corpo de prova, em milímetros (mm).

## 5 METODOLOGIA DE TRABALHO

Este trabalho consiste em uma revisão bibliográfica e prática experimental para identificar os materiais e agregados disponíveis na cidade. Posteriormente, foi realizada a caracterização desses agregados por meio de ensaios de teor umidade, análise granulométrica, massa unitária e densidade. Em seguida, na prática, serão realizados traços de concreto a partir de dosagem experimental e moldados corpos de prova cilíndricos de acordo com as normas técnicas vigentes, para posteriormente serem apresentados testes de resistência à compressão por força axial.

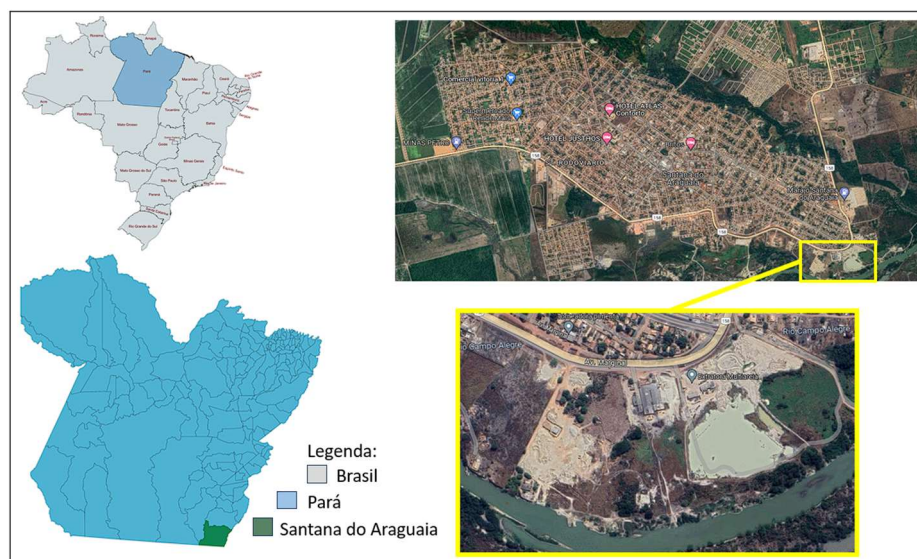
Para a realização desses estudos, foram utilizados equipamentos e ferramentas disponíveis no Laboratório de Materiais de Construção do Instituto de

Engenharia do Araguaia (IEA). Por fim, serão elaborados traços com dosagens para 25 MPa de resistência.

## 5.1 Escolha e coleta de materiais

O tema de estudo está localizado na região sul do Pará, conforme indicado no mapa da Figura 5. Em Santana do Araguaia, existem rios de pequeno porte próximos à área urbana, que são usados por algumas empresas visitadas para extrair a matéria-prima necessária na pesquisa dos materiais utilizados na confecção da mistura de concreto.

Figura 5 – Mapa de referência do local de estudo



Fonte: Autor (2023)

Durante a visita de campo, uma das empresas exploradas foi a Multiareia, localizada as margens da BR 158 e o Rio Barro Branco. Essa empresa é especializada na extração e venda de areia e seixo. Seu concorrente direto é a empresa Beto da Areia, cujo endereço é vizinho ao da Multiareia. A empresa Beto da Areia também realiza a extração de matéria-prima (areia e seixo rolado misto) do mesmo rio. Ambas as empresas têm em comum o comércio de brita, porém elas adquirem esse material de outro parceiro comercial no município, o Britador Cal Pará.

Durante a visita de campo, que incluiu esses fornecedores, foram coletadas algumas amostras e levadas para o laboratório, as quais passaram por um processo de caracterização.

Para a formulação das misturas de concreto, foram escolhidos dois tipos de aglomerante (cimento) após uma pesquisa de mercado. O primeiro é o CP IV 32 RS da marca CIPLAN, e o segundo é o CP II F 32 da marca GOIÁS para uso geral, conforme representados na Figura 6. Esses cimentos são os mais adquiridos pela mão de obra local segundo os vendedores e têm maior disponibilidade nas lojas fornecedoras.

Figura 6 – Tipos de cimentos utilizados.



a) CP IV 32 RS

b) CP II F 32

Fonte: Autor (2023)

## 5.2 Caracterização do agregado graúdo e agregado miúdo

### 5.2.1 Ensaio de granulometria

O ensaio granulométrico realizado para areia e brita seguem a mesma norma vigente, a NBR 17054/2022 e seguindo os critérios de coleta e separação de amostras.

Para a realização dessa prática, segundo a norma, precisa-se de uma balança (foi utilizada uma balança com precisão de 0,1g), conjunto de peneiras da série normal e intermediária, com tampa e fundo (foram utilizadas as peneiras com abertura entre 4,75 mm até 0,15 mm para granulometria de agregado miúdo) e de (12,5 até 0,15 mm para agregado graúdo), agitador mecânico de peneiras.

Duas amostras secas de massas  $m_1$  e  $m_2$ , são levadas ao conjunto de peneiras sobre um agitador mecânico observados na Figura 7 por um tempo razoável até que seja possível notar que os grãos menores passaram.



Figura 7 – Peneiras sobre o agitador mecânico durante o ensaio.



Fonte: Autor (2023)

Ao fim do peneiramento são extraídos do conjunto e pesados a massas retidas em cada peneira, e vale lembrar que são feitas duas determinações de cada amostra trazendo um grau de confiabilidade no ensaio, partindo da confecção de planilha de cálculos que podem ser acompanhados analisadas nas Tabelas 12, 13, 14 e 15.

Tabela 12 – Valores obtidos durante ensaio de peneiramento da areia fina.

PENEIRAS	Massa 1 (g)	Massa 2 (g)	% Retida 1	% Retida 2	Variação +4%	% Média Retida	% Média Acumulada
9,5 mm	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6,3 mm	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,75 mm	2	2	0,67	0,67	0,00	0,67	0,67
2,36 mm	12	10	4,01	3,33	0,68	3,67	4,34
1,18 mm	56	51	18,73	17,00	1,73	17,86	22,21
0,6 mm	89	91	29,77	30,33	-0,57	30,05	52,26
0,3 mm	80	80	26,76	26,67	0,09	26,71	78,97
0,15 mm	43	46	14,38	15,33	-0,95	14,86	93,82
Fundo	17	20	5,69	6,67	-0,98	6,18	100,00
TOTAL (g)	299	300				100,00	

Fonte: Autor (2023)

Tabela 13 – Valores obtidos durante ensaio de peneiramento da areia grossa.

PENEIRAS	Massa 1 (g)	Massa 2 (g)	% Retida 1	% Retida 2	Variação +4%	% Média Retida	% Média Acumulada
9,5 mm	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6,3 mm	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,75 mm	5	6	0,63	0,75	-0,12	0,69	0,69
2,36 mm	138	126	17,31	15,77	1,55	16,54	17,23
1,18 mm	300	279	37,64	34,92	2,72	36,28	53,51
0,6 mm	162	177	20,33	22,15	-1,83	21,24	74,75
0,3 mm	93	103	11,67	12,89	-1,22	12,28	87,03
0,15 mm	60	66	7,53	8,26	-0,73	7,89	94,93
Fundo	39	42	4,89	5,26	-0,36	5,07	100,00
TOTAL (g)	797	799				100,00	

Fonte: Autor (2023)

Tabela 14 – Valores obtidos durante ensaio peneiramento do seixo.

PENEIRAS	Massa 1 (g)	Massa 2 (g)	% Retida 1	% Retida 2	Varição +4%	% Média Retida	% Média Acumulada
19 mm	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12,5 mm	294	293	36,75	36,63	0,13	36,69	36,69
9,5 mm	110	94	13,75	11,75	2,00	12,75	49,44
6,3 mm	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	49,44
4,75 mm	246	225	30,75	28,13	2,63	29,44	78,88
2,36 mm	130	142	16,25	17,75	-1,50	17,00	95,88
1,18 mm	20	40	2,50	5,00	-2,50	3,75	99,63
0,6 mm	0	2	0,00	0,25	-0,25	0,13	99,75
0,3 mm	0	2	0,00	0,25	-0,25	0,13	99,88
0,15 mm	0	2	0,00	0,25	-0,25	0,13	100,00
Fundo	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
TOTAL (g)	800	800				100,00	

Fonte: Autor (2023)

Tabela 15 – Valores obtidos durante ensaio peneiramento do brita.

PENEIRAS	Massa 1 (g)	Massa 2 (g)	% Retida 1	% Retida 2	Varição +4%	% Média Retida	% Média Acumulada
19 mm	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12,5 mm	1230	1182	87,92	84,61	3,31	86,26	86,26
9,5 mm	158	198	11,29	14,17	-2,88	12,73	99,00
6,3 mm	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	99,00
4,75 mm	10	16	0,71	1,15	-0,43	0,93	99,93
2,36 mm	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	99,93
1,18 mm	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	99,93
0,6 mm	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	99,93
0,3 mm	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	99,93
0,15 mm	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	99,93
Fundo	1	1	0,07	0,07	0,00	0,07	100,00
TOTAL (g)	1399	1397				100,00	

Fonte: Autor (2023)

### 5.2.2 Ensaio de Massa unitária

Segundo a NBR 16972/2021 específica para determinação de massa unitária de agregados miúdo ou grúdo que por sua vez, significa a relação entre a massa de agregado e o volume do recipiente efetuando o cálculo descrito na Equação 8.

$$\rho_{ap} = \frac{M_{ar} - M_r}{V} \quad (\text{Equação 8})$$

onde

$\rho_{ap}$  é a massa unitária do agregado, expressa em quilogramas por metro cúbico (kg/m<sup>3</sup>);

$M_{ar}$  é a massa do recipiente com o agregado, expressa em (kg);

$M_r$  é a massa do recipiente vazio, expressa em (kg);

$V$  é o volume do recipiente, expresso em ( $m^3$ );

O procedimento do ensaio pede a utilização de balança com resolução igual ou melhor que 50g, haste metálica de adensamento com diâmetro de 16 mm e 600mm de comprimento e recipiente de forma cilíndrica em material impermeável.

A mesma NBR também descreve três métodos para identificar a massa unitária para o procedimento de acordo com granulometria do agregado. Logo o método a ser realizado foi o Método A, do item (8.1.1) da norma que diz que: O método A deve ser empregado para determinar a massa unitária de material compactado, quando os agregados tiverem dimensão máxima característica de 37,5 mm ou menor.

De acordo com a (seção 8.2: Método A), seguem as Figuras 8, 9 e 10 da realização do procedimento de ensaio, fazendo três determinações de cada amostra.

Figura 8 – Execução do método e aferição da massa unitária da areia.



a) Enchimento do recipiente com areia



b) Pesagem

Fonte: Autor (2023)

Figura 9 – Execução do método e aferição da massa unitária do seixo rolado misto.



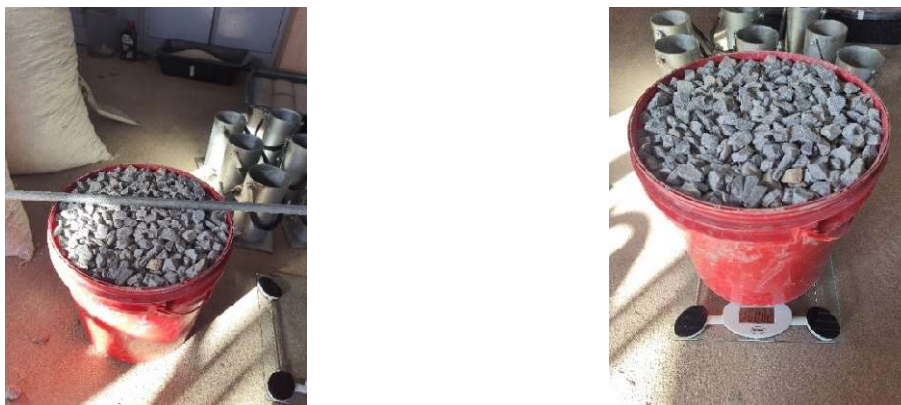
a) Rasamento com seixo



b) Pesagem

Fonte: Autor (2023)

Figura 10 – Execução do método e aferição da massa unitária da brita.



a) Rasamento do recipiente com brita

b) Passagem

Fonte: Autor (2023)

### 5.2.3 Ensaio de densidade para o agregado graúdo

Os ensaios foram realizados segundo especificações contidas na norma NBR 16917/2021. A aparelhagem necessária foi balança, cesto de arame, recipiente com água, peneira de 4,75 mm, estufa e bandejas.

O ensaio foi realizado com 2 amostras de pedra brita e 2 amostras de seixo rolado misto. O material brita e seixo rolado misto foram lavados sobre a peneira de 4,75 mm lavados e colocados em bandejas com água durante 24 h. Os procedimentos podem ser observados na Figura 11.

Figura 11 – Agregados graúdos imersos para preenchimento dos vazios com água.



a) Brita

b) Seixo rolado

Fonte: Autor (2023)

Após o período indicado as amostras são retiradas e secas com pano, observados na Figura 12, até eliminar superficialmente a umidade afim de que fique

em superfície saturada seca (sss) evitando a evaporação de água, e determinar a massa  $M_b$ .

Figura 12 – Secagem de umidade superficial do agregado.



a) Brita na condição saturada superfície seca



b) Seixo na condição saturada superfície seca

Fonte: Autor (2023)

As amostras foram colocadas em um cesto de arame e imersas em um recipiente com água onde é feita nova pesagem com balança de gancho de terminando a massa  $M_c$ , e depois a amostra é lavada para a estufa deixada em temperatura de 75 °C por aproximadamente 30 h, em seguida é retirada e determinada massa  $M_a$ , ver a Figura 13. Os procedimentos devem ser realizados em duplicata para cada agregado.

Figura 13 – Aferição de massa imersa em água e secagem em estufa.



a) Pesagem através do cesto de arame imerso em água.



b) Secagem do agregado graúdo em estufa

Fonte: Autor (2023)

De posse dos dados são realizados os cálculos através da Equação 9, para o agregado na condição seca.

$$\rho_s = \frac{M_a}{M_b - M_c} \quad (\text{Equação 9})$$

Onde

$\rho_s$  é a densidade do agregado na condição seca ( $\text{g/cm}^3$ );

$M_a$  é a massa da amostra seca em estufa (g);

$M_b$  é a massa da amostra na condição saturada superfície seca (g);

$M_c$  é a massa da amostra submersa em água na condição saturada superfície seca (g);

Foram realizados os cálculos através da Equação 10, para o agregado na condição superfície saturada seca.

$$\rho_{sss} = \frac{M_a}{M_b - M_c} \quad (\text{Equação 10})$$

Onde

$\rho_{sss}$  é a densidade do agregado na condição superfície saturada seca, expressa em gramas por centímetro cúbico ( $\text{g/cm}^3$ );

#### 5.2.4 Ensaio de densidade para o agregado miúdo

O ensaio de densidade do agregado miúdo conforme a NBR 16916, é utilizado para determinar a massa específica (densidade aparente) do agregado miúdo, que é um dos parâmetros importantes na caracterização dos materiais utilizados na construção civil.

Utilizando uma balança e bandeja, pesa-se 2,5 kg de amostra que é colocado em descanso saturado em água por 24 h. O ensaio deve ser feito a partir de duas determinações. Após o tempo determinado a amostra pode ser retirada e deve-se secá-la ao ar livre mexendo frequentemente garantindo uma condição superfície saturada seca. O procedimento pode ser observado na Figura 14 abaixo.

Figura 14 – A esquerda areia saturada, a direita saturada superfície seca.



a) Saturação da areia



b) Secagem ao ar livre

Fonte: Autor (2023)

Definida amostra  $M_b = 500\text{g}$ , colocou-se em um frasco com graduação de volume e mais uma vez é pesado e determinado sua massa  $M_c$ . Coloca-se água até próximo a marcação de 500mL e leva-o para ficar imerso em água com temperatura controlada de 23 a 29°C durante 1h. Após esse período deve-se completar com água a marca de 500mL e determinar nova massa  $M_d$ . Observar Figura 15.

Figura 15 – Pesagem da amostra em recipiente volumétrico e secagem em estufa.



a) Pesagem do material para ensaio



b) Aferição da massa do conjunto



c) Secagem em estufa

Fonte: Autor (2023)

A partir dos procedimentos executados proceder levando uma amostra de 500g para estufa a 75°C deixando lá por 30h até massa constante e determinar massa  $M_a$ . De posse dos dados acima é possível calcular a massa específica/densidade do agregado de acordo com a Equação 11.

$$\rho_s = \frac{M_a}{V - V_a} \quad (\text{Equação 11})$$

Onde:

$\rho_s$  é a densidade do agregado na condição seca, expressa em gramas por centímetro cúbico (g/cm<sup>3</sup>);

$M_a$  é a massa da amostra seca em estufa a (105 ± 5) °C, expressa em gramas (g);

$V$  é o volume do frasco calibrado, em centímetros cúbicos (cm<sup>3</sup>);

$V_a$  é o volume de água adicionada ao frasco, expresso em (cm<sup>3</sup>);

$$V_a = \frac{M_d - M_c}{\rho_a}$$

Onde:

$M_c$  é a massa do conjunto formado pela massa da amostra na condição saturada superfície seca, mais a massa do frasco (g);

$M_d$  é a massa da amostra na condição saturada superfície seca, mais a massa do frasco, mais a massa da água (g);

$\rho_a$  é a densidade da água na temperatura de banho ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

E são realizados os cálculos através da Equação 12, para o agregado na condição superfície saturada seca.

$$\rho_{sss} = \frac{M_b}{V - V_a} \quad (\text{Equação 12})$$

Onde:

$\rho_{sss}$  é a densidade do agregado na condição saturada superfície seca, expressa em gramas por centímetro cúbico ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$M_b$  é a massa da amostra na condição saturada superfície seca, expressa em gramas (g);

### 5.2.5 Ensaio de teor de Umidade

A umidade foi obtida a partir da NBR 6467/2006 referente ao inchamento do agregado miúdo. Utilizando o método da estufa, feita separação da amostra de massa coletada em campo. O ensaio requer utilização de estufa com intervalo de 0 a 75°C, balança (foi utilizada com resolução de 2 g e capacidade de 10 kg), bandeja para pesagem e colocação da amostra em estufa. Logo as Figuras 16 mostram os equipamentos e a realização do ensaio.

Figura 16 – Amostra de para teor de umidade e secagem em estufa.



a) Preparação da amostra m1



b) Preparação da amostra m2  
Fonte: Autor (2023)



c) Secagem das amostras em estufa



A partir da aferição da massa inicial colocada em estufa durante 24h, e retirada após verificação de que massa está com perda mínima de umidade, é feita nova aferição de massa final, e então a massa do recipiente usado também é usada.

De posse dos dados aferidos, são lançados na Equação 13, para obtenção dos resultados de umidade.

$$h = \frac{M_i - M_f}{M_f - M_c} * 100 \quad (\text{Equação 13})$$

Onde:

$h$  é o teor de umidade do agregado em porcentagem;

$M_i$  é a massa inicial do agregado e o recipiente;

$M_f$  é a massa final de agregado e o recipiente;

$M_c$  massa do recipiente;

### 5.3 Método de dosagem teórico dos traços

A dosagem do concreto é definida de acordo com parâmetros apresentados na Tabela 16. Seguindo o método de dosagem da ABCP que utiliza os dados da caracterização dos materiais, serão determinadas as proporções de cada componente da mistura.

Tabela 16 – Materiais e parâmetros de dosagem

Tipo de agregado	Tipo de cimento	Fck	sd	Fcmj	Slump
1º Seixo + areia	CP IV 32 RS	16	5,5	25,07	80 +- 20
2º Seixo peneirado + areia	CP IV 32 RS				
3º Seixo + areia	CP II F 32				
4º Seixo + areia	CP IV F 32	25	34,07		
5º Seixo + areia	CP II F 32				
6º Brita + areia	CP II F 32				

Fonte: Autor (2023)

#### 5.3.1 Execução da mistura de concreto

Posterior a definição dos traços inicia-se a produção do concreto. Pesando e separando os materiais. Os equipamentos necessários ao uso são balança, recipientes, pá, colher de pedreiro, betoneira conforme as Figuras 17, 18 e 19.

Figura 17 – Materiais para produção do 1º traço de concreto.



a) Seixo rolado



b) areia



c) Cimento CP IV 32 RS

Fonte: Autor (2023)

Figura 18 – Materiais para produção do 6º traço de concreto.



a) Brita



b) Areia



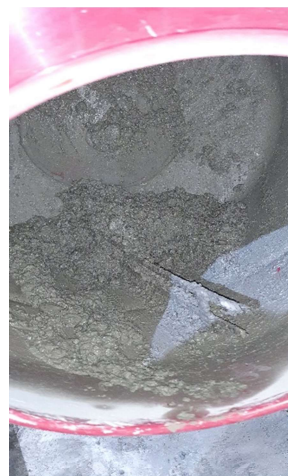
c) Cimento CP II F 32

Fonte: Autor (2023)

Figura 19 – Execução da mistura de concreto utilizando betoneira.



a) Concreto com CP II 32



b) Concreto com CP IV 32 RS

Fonte: Autor (2023)

### 5.3.2 Ensaio de consistência

Obedecendo os requisitos da NBR 16889/2020 foi feito *slump test* com o auxílio de placa metálica, molde tronco cônico, haste de adensamento que para a cada camada serão golpeados 25 vezes, Figura 20, referente ao abatimento do concreto onde será verificado se atingiu o parâmetro desejado.

Figura 20 – Execução do método de ensaio de slump test.



a) Preparo com molde tronco cônico



b) Aferição do abatimento

Fonte: Autor (2023)

### 5.3.3 Preparação dos corpos de prova

Mediante a preparação dos moldes cilíndricos 10cm x 20cm dos corpos de prova, que devem ser untados com um tipo desmoldante, também foram diferidos 12 golpes através de 2 camadas observados na Figura 21, como define a NBR 5738/2015 e determina o processo de cura, e desta forma foram produzidos 6 corpos de provas para cada traço executado. Em seguida são retirados das formas após 24 h e imersos em água saturada com solução de hidróxido de cal até completarem a idade em que foram testadas suas resistências.

Figura 21 – Preparação e cura dos corpos de prova (CP's).



a) Preenchimento com 2 camadas e 12 golpes



b) Rasamento da superfície



c) CP's em cura após a desforma

Fonte: Autor (2023)

### 5.3.4 Ensaio de resistência a compressão por força axial

Após os corpos de prova passarem por processo de cura até atingirem a idade de rompimento que foi definida em 7 dias, 14 dias e 28, dias para o grupo dos 4 primeiros traços executados conforme a Tabela 16, e aos 3 dias, 7 dias e 28 dias para o grupo dos 2 últimos traços executados, estes são preparados e levados a prensa hidráulica onde são rompidos de acordo com a NBR 5739/2018 conforme são ilustrados nas Figura 22.

Figura 22 – Primeiro CP a ser realizado ensaio de compressão.



a) Posicionamento do CP no equipamento de ensaio

b) Situação após a ruptura

Fonte: Autor (2023)

Este procedimento representado acima foi repetido para todos os outros CPs. Após o rompimento pode-se ver o interior dos CPs como mostra Figura 23 onde foram feitas algumas observações em alguns casos quanto ao concreto convencional preparado sem nenhum tipo de beneficiamento.

Figura 23 – Verificação visual no interior do CP.



a) Identificação de grãos de argila no interior do CP

b) Presença de matéria orgânica (talos de gramíneas)

Fonte: Autor (2023)

## 6 RESULTADOS

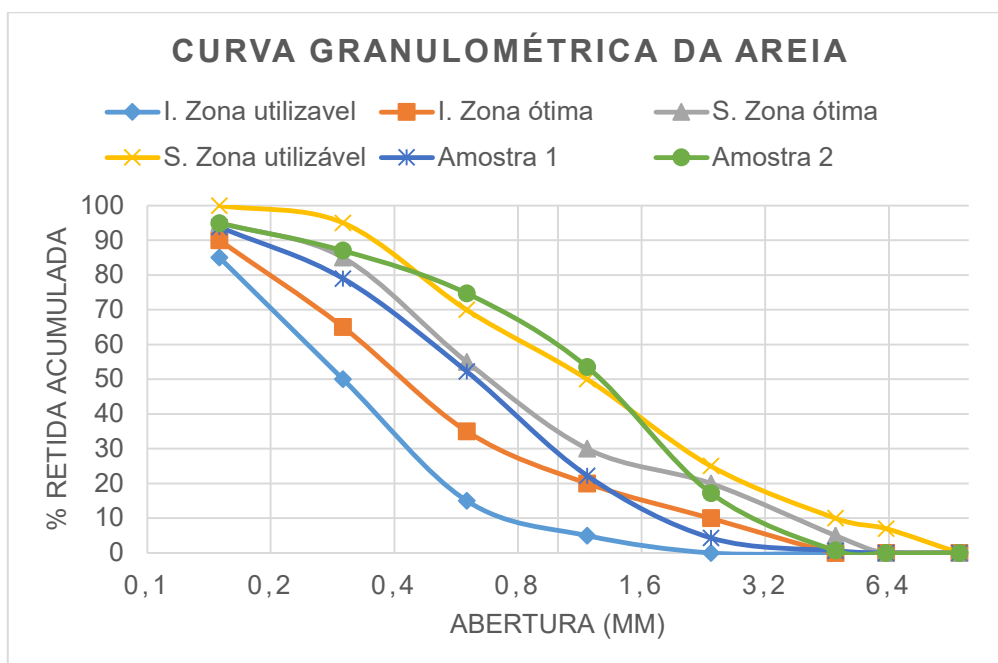
Neste capítulo serão apresentados os resultados atingidos com os ensaios de caracterização dos agregados, bem como as proporções resultantes da dosagem experimental a partir do método aplicado e a análise dos resultados obtidos nos ensaios de consistência e compressão.

### 6.1 Dados obtidos a partir da caracterização dos agregados

#### 6.1.1 Granulometria

Diante da composição granulométrica obtida nos ensaios, foi possível correlacionar com a (Tabela 2 da NBR 7211/2022) ilustrada na Tabela 3 deste trabalho e analisar a curva granulométrica das areias produzindo o gráfico da Figura 24.

Figura 24 – Gráfico de correlação entre limites de zonas utilizáveis, ótimas e areia analisada.



Fonte: Autor (2023)

Observa-se pelo gráfico que a areia comercializada de amostra 1 (areia fina) se comporta de maneira pouco variável dentro das zonas ótimas de caracterização. Já amostra 2 (areia grossa) apresenta uma variação maior entre as utilizáveis e em algum momento esteve fora dela. Logo temos a Tabela 17 onde observamos os dados de Diâmetro Máximo Característico (DMC) e o Módulo de Finura (Mf).

Tabela 17 – Diâmetro máximo característico e Módulo de finura do agregado miúdo

Material	Massa utilizada (g)	DMC (mm)	Mf
Areia fina	300	2,36	2,52
Areia grossa	800	4,75	3,28

Fonte: Autor (2023)

Com base na análise do agregado graúdo seixo conforme a Tabela 4 deste trabalho, de acordo a norma brasileira (NBR 7211/2022 Tabela 6), é possível observar que o material apresenta uma distribuição heterogênea nas peneiras de separação granulométrica. Essa heterogeneidade é evidenciada pelas percentagens de material retido acumulado nas diferentes faixas granulométricas, que variam entre 4,75/12,5 e 9,5/25, caracterizando o agregado como bem graduado. No caso específico da brita, as percentagens retidas acumuladas também variam, embora em menor medida. Contudo, ainda podemos notar uma discrepância entre as faixas granulométricas 9/25 e 19/31. Essa diferença pode ser atribuída à presença de grãos com formatos irregulares, alguns mais angulosos e lamelares. Essa análise sugere que tanto o seixo quanto a brita possuem características granulométricas distintas, o que pode afetar suas propriedades mecânicas e comportamento em misturas de concreto ou argamassa. É importante considerar essas variações na seleção e utilização desses agregados em aplicações específicas de engenharia civil e construção.

Desta forma os agregados graúdos possuem DMC sendo apresentados na Tabela 18, acompanhado da massa utilizada para o ensaio e o modulo de finura dos materiais.

Tabela 18 – Diâmetro máximo característico e Módulo de finura do agregado graúdo

Material	Massa utilizada (g)	DMC (mm)	Mf
Seixo	800	19	6,23
Brita	1400	19	6,99

Fonte: Autor (2023)

### 6.1.2 Massa Unitária

A massa unitária dos agregados uma vez obtida a partir de três determinações tem como resultado dos ensaios os dados apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 – Massas unitárias dos agregados

Massa unitária (kg/m <sup>3</sup> )			
Areia fina	Areia grossa	Seixo	Brita
1575,6	1512,4	1746,5	1566,2

Fonte: autor (2023)

Ao comparar os resultados da massa unitária dos agregados com os valores médios recomendados pela NBR 6120/2019 (Tabela A.1) observados na Tabela 20, após a conversão adequada para as mesmas unidades de medida, podemos observar que os valores obtidos se situam dentro das faixas preconizadas. Isso sugere que os agregados atendem aos critérios estabelecidos pela norma para materiais de construção, o que é relevante para garantir a qualidade e a adequação desses materiais em aplicações construtivas.

Tabela 20 – Peso específico aparente médio de materiais de armazenagem segundo NBR 6120.

Material		Peso específico aparente $\gamma_{ap}$ kN/m <sup>3</sup>	Ângulo de atrito interno °Graus
1 Materiais de construção	Areia com umidade natural	17 a 19 (18)	30
	Areia seca	15 a 16 (15,5)	35
	Pedra britada	15 a 20 (17,5)	40
	Seixo	19	30

Fonte: adaptado de NBR 6120/2019

### 6.1.3 Densidade

Os valores apresentados na Tabela 21 correspondem aos resultados dos ensaios de densidade realizados de acordo com as normas NBR 16916 e NBR 16917, os quais indicam a densidade de cada agregado estudado. É importante mencionar que os ensaios de densidade para agregados miúdos e graúdos diferem em seus métodos de execução, mas ambos seguem as determinações especificadas em suas respectivas normas. Os resultados obtidos são a média de duas operações, com variações mínimas, garantindo assim uma avaliação mais precisa da densidade de cada agregado.

Tabela 21 – Densidade dos agregados

Densidade (kg/m <sup>3</sup> )			
Areia fina	Areia grossa	Seixo	Brita
2434,3	2387,9	2486,8	1954,3

Fonte: autor (2023)

A abordagem de realizar a média de duas operações com variações mínimas é comum em ensaios para garantir a confiabilidade dos resultados e minimizar possíveis erros experimentais. Esses valores de densidade obtidos são essenciais para caracterizar os agregados e determinar sua aplicabilidade.

#### 6.1.4 Teor de Umidade

Para o teor de umidade das areias após o ensaio pelo método da estufa a partir de duas determinações de cada agregado, obteve-se o resultado apresentado na Tabela 22.

Tabela 22 – Teor de umidade das areias

Teor de umidade (h) %	
Areia fina	Areia grossa
3,68	3,34

Fonte: autor (2023)

Ao analisar os resultados da determinação do teor de umidade das areias, percebe-se que os valores encontrados são médios, variando entre 3,34% e 3,68%. Essa baixa umidade é um aspecto positivo, pois indica que as amostras estão com uma quantidade reduzida de água, o que pode ser considerado adequado em algumas aplicações construtivas. Isso pode ser explicado levando em consideração a maneira de armazenamento feita de forma mais espalhada no pátio não amontoando em elevada altura faz com que um grande excesso de umidade evapore, além disso, este trabalho foi desenvolvido em um período de elevadas temperaturas na região.

#### 6.1.5 Água de amassamento

O resultado do pH da água de amassamento do concreto, medido através de um pHmetro, revelou um valor fundamental para a qualidade da mistura, obtido um pH de 7,52 a uma temperatura de 23°C, consultar Figura 25, o que é adequado para



garantir a durabilidade, resistência e contra possíveis corrosões nas armaduras das estruturas.

Figura 25 – Aferição do pH da água de amassamento.



Fonte: autor (2023)

## 6.2 Dosagem experimental e aferição das propriedades requeridas

Com base nos resultados da caracterização dos agregados e nos parâmetros de dosagem estipulados, é possível calcular as proporções de cada material, apresentadas na Tabela 23 da página seguinte, para a mistura do concreto convencional, segundo o método ABCP. O objetivo era obter uma proporção que seja economicamente viável, atenda aos critérios normativos e garanta a resistência mínima requerida aos 28 dias de idade do concreto. Durante esse processo, foi variado o uso de diferentes materiais, como especificado conforme Tabela 16 deste trabalho.

Tabela 23 – Resultados do método de dosagem ABCP com proporções de agregados, relação a/c e teor de argamassa obtidos para cada traço.

Traço	1º seixo + areia + CPIV32	2º Seixo P +areia+ CPIV32	3º seixo + areia + CP II F	4º seixo + areia + CPIV32	5º seixo + areia + CP II F 32	6º Brita + areia + CP II F 32
Consumo de cimento (kg/m³)	353,4				416,7	
Cons. de agregado miúdo (kg/m³)	453,9				443,9	278,1
Cons. de agregado graúdo (kg/m³)	1203,1				1205	1080,6
Água (l/m³)	205				200	200
Relação a/c de execução	0,58	0,63	0,54	0,58	0,46	0,48
Teor de argamassa (%)	40,2				41,7	39,2
Traço unitário (kg)	1 : 1,28 : 3,40				1 : 1,1 : 2,9	1 : 0,67 : 2,6

Fonte: autor (2023)

Conhecendo as proporções dos materiais utilizados na mistura do concreto, foi possível calcular e analisar o teor de argamassa e a relação água/cimento. A relação água/cimento é um parâmetro fundamental que influencia diretamente nas propriedades do concreto, como resistência, durabilidade e trabalhabilidade.

É possível observar que para os traços 1º, 2º, 3º e 4º, as relações água/cimento são maiores, conseqüentemente a resistência para esses traços são menores em relação ao 5º e 6º traço cujo as resistências a serem alcançadas são maiores.

Já os teores de argamassa se mantiveram bem próximos em ambos os traços, porém a água necessária para o amassamento em alguns casos foi menor e em outros maior. A hipótese dessa ocorrência se deve ao fato de o agregado não possuir uma forma e granulometria semelhantes.

### 6.2.1 *Slump test* (Consistência)

A consistência aferida após a mistura de concreto pronta mostrou a trabalhabilidade do concreto dosado e os resultados podem ser observados pela Tabela 24 correspondendo aos traços executados.

Tabela 24 – Consistência obtida em cada traço

<i>Slump test</i>	1°	2°	3°	4°	5°	6°
Obtido (mm)	54	68	92	82	75	73

Fonte: autor (2023)

### 6.2.2 Resistência Característica à Compressão

A resistência a compressão do concreto produzido foi aferida após tempo de cura ganhando idade suficiente para cada determinação da resistência. Podem ser avaliados a partir da Tabela 25 os resultados dos ensaios que envolveram o rompimento de dois corpos de prova por ensaio em cada traço executado, onde foram descartados os menores valores obtidos mantendo apenas os maiores para a análise.

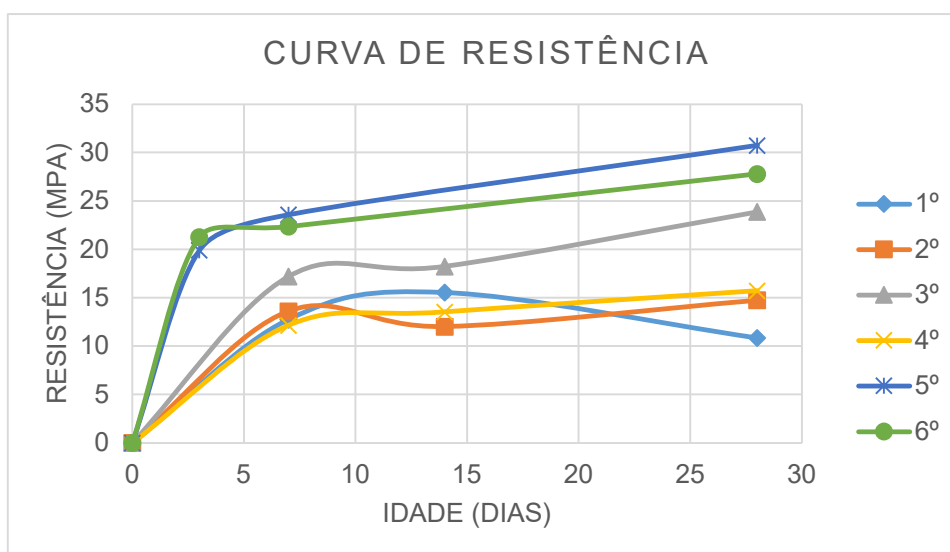
Tabela 25 – Resistências (Mpa) obtidas de cada traço em relação a sua idade

Traço	a/c	3 dias	7 dias	14 dias	28 dias
1°	0,58	-	12,76	15,55	10,85
2°	0,63	-	13,61	12,02	14,76
3°	0,54	-	17,21	18,24	23,88
4°	0,58	-	12,16	13,54	15,74
5°	0,46	19,91	23,59	-	30,74
6°	0,48	21,28	22,37	-	27,81

Fonte: autor (2023)

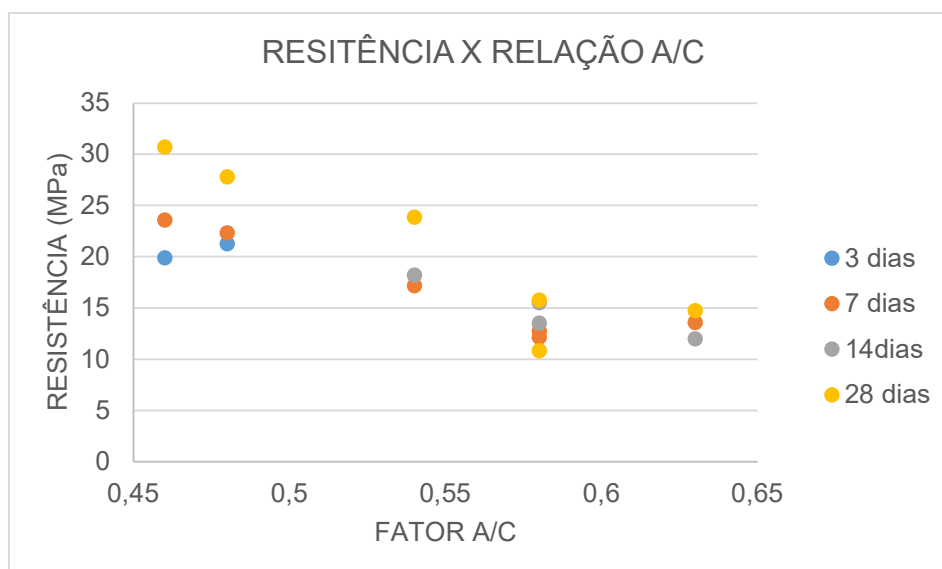
Construída a tabela acima foi possível confeccionar os gráficos da Figuras 26 e 27 da curva de ganho de resistência e correlacionando a relação a/c também com a resistência obtida. Com esses gráficos, será possível visualizar a relação entre o tempo de cura e a resistência, bem como a influência da relação a/c na resistência final do concreto. Isso pode ajudar a identificar a dosagem mais adequada para obter a resistência desejada e atender aos requisitos de projeto.

Figura 26 - Gráfico de curva de resistência a compressão dado a idade.



Fonte: autor (2023)

Figura 27 - Gráfico de correlação da resistência x fator a/c.



Fonte: autor (2023)

Analisando os dados, pode-se observar que os traços 5º e 6º apresentam as maiores resistências, com valores de 19,91 MPa e 21,28 MPa já aos 3 dias respectivamente. Isso corrobora com a observação anterior, onde traços com relações a/c menores (5º e 6º) tendem a apresentar resistências mais altas.

Por outro lado, os traços 3 e 4 possuem resistências intermediárias, enquanto os traços 1º e 2º têm resistências mais baixas. Isso pode estar relacionado às proporções dos materiais e à relação água/cimento em cada traço, como mencionado anteriormente.

## **7 CONCLUSÃO**

### **7.1 Considerações acerca do estudo desenvolvido**

Com base nos resultados obtidos após a caracterização dos agregados e das especificações normativas, foi determinada a quantidade de cimento, agregados (areia e brita ou seixo) e água, usando os agregados provenientes de Santana do Araguaia. Isso é fundamental para o sucesso das construções e a sustentabilidade das edificações a longo prazo. Além disso, a busca por uma proporção economicamente viável visa otimizar os custos de produção do concreto sem comprometer sua qualidade e desempenho.

O presente estudo, se propôs a encontrar um traço com resistência a compressão de 25 MPa aos 28 dias estando dentro dos parâmetros normativos de classe de agressividade II, moderada, urbana e de pequeno risco e para formular uma mistura de concreto utilizou o método de dosagem da ABCP. O método de dosagem é facilmente compreensível, permitindo que até mesmo profissionais com pouca ou nenhuma experiência em práticas laboratoriais possam utilizá-lo, pois, leva em consideração os fatores essenciais do concreto, tanto no estado fresco quanto endurecido, que são cruciais para a realização de uma obra bem-sucedida. Ele inclui tabelas que indicam a quantidade de material necessária para atingir o abatimento desejado e a resistência à compressão requerida.

A dosagem do concreto que apresentou resistências à compressão satisfatória superior a 25 MPa foram o 5º traço com 30,74 MPa e o 6º traço com 27,81 MPa, atendendo aos parâmetros exigidos de consistência de 80 mm +- 20 mm, uma vez sendo possível utilizar em concretagens de fundações, pilares e vigas. Ambos consumiram 416,7 kg/m<sup>3</sup> de cimento CP II F 32. No entanto, as proporções de agregados variam devido às suas propriedades físicas. Para o 5º traço, a proporção de agregado miúdo (areia) e graúdo (seixo) foi de 443,9 kg/m<sup>3</sup> e 1205 kg/m<sup>3</sup>, tendo consumido 192L/m<sup>3</sup> de água de acordo com o traço executado. Por outro lado, para o 6º traço, as proporções de agregados miúdos (areia) e graúdos (brita) foram de 278,1 kg/m<sup>3</sup> e 1080,6 kg/m<sup>3</sup>, tendo consumido 200 L/m<sup>3</sup> de água no traço executado de acordo com o traço dosado.

Deve-se salientar que os CPs do 1º e 2º traço apresentaram pequenas deformações e defeitos devido à presença de matérias orgânicas e argila, o que pode ter refletido no resultado da resistência a compressão obtido aos 28 dias. Outros

resultados também são passíveis de terem sido afetados com erros ou variabilidades na produção dos CPs.

A caracterização dos agregados e materiais disponíveis em uma determinada região é fundamental para obter concreto de qualidade. A análise granulométrica revelou que a areia fina escolhida está em uma zona de classificação ótima para utilização em concreto com um Módulo de finura (Mf) de 2,52. Já o seixo rolado possui uma grande variação de granulometria, o que pode ser vantajoso, uma vez que, em uma observação visual e por peneiramento, esse material passante em peneira de abertura 4,75 mm representa cerca de 35% a 47% do agregado graúdo que com base no ensaio granulométrico indicou o Diâmetro Máximo Característico (DMC) em 19 mm. A brita também se encontra em uma zona granulométrica Diâmetro Máximo Característico (DMC) de 19 mm variável devido ao formato de seus grãos, onde alguns são cúbicos e outros lamelares e angulosos, o que é benéfico para a mistura de concreto, visto que o cimento adere melhor a esse tipo de material.

É importante ressaltar que o teor de umidade de 3,68% obtido para a areia fina utilizada é um parâmetro relevante e deve ser o mínimo possível para agregados, pois, pode contribuir para melhorar a qualidade e a consistência desses materiais, tornando-os mais adequados para uso em obras civis. Portanto, o fator água/cimento (a/c) teve variações devido às características superficiais dos agregados e seu módulo de finura, além das diferenças entre os tipos de cimento utilizados.

## **7.2 Sugestões para trabalhos futuros**

- I. Dosar o concreto por meio de outros métodos para que seja possível realizar uma comparação entre eles, avaliando os consumos de cimento e agregados.
- II. Realizar outros ensaios de caracterização como por exemplo o ensaio de dureza pelo método de Abrasão Los Angeles para agregados avaliando a interferência deste parâmetro na resistência do concreto.
- III. Produzir maiores quantidades de corpos de prova para a obtenção da resistência com um desvio padrão mínimo acerca dos resultados.

## REFERÊNCIAS

ABCP, **Associação Brasileira de Cimento Portland**. São Paulo, Quem Somos, 2009. Disponível em: [http://www.abcp.org.br/conteudo/quem\\_somos/apresentacao/associacao-brasileira-de-cimento-portland](http://www.abcp.org.br/conteudo/quem_somos/apresentacao/associacao-brasileira-de-cimento-portland). Acesso em: 12 agosto 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16886** - Concreto - amostragem de concreto fresco. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16917** - Agregado graúdo—Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2021.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto-Ensaio de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projetos de estruturas de concreto-Procedimentos. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16972**: Agregados – Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17054**: Agregados – Determinação da composição granulométrica – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2022.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15900-1**. Água para Amassamento do concreto – Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697**: Cimento Portland – Requisitos – Classificação. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16889**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 2020.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-16916**: Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2021.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de Construção**, vol. 1. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

BOTELHO, Manoel Henrique Campo; MARCHETTI, Osvaldemar. **Concreto armado- Eu te amo**. Editora Blucher, 2018.

HELENE, Paulo RL; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**, PINI, S. Paulo, SP, 1992.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo JM. Concreto. **Microestrutura, propriedades e materiais**, v. 2, 2014.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do concreto-5ª Edição**. Bookman Editora, 2015.

NEVILLE, Adam M. **Tecnologia do concreto-2ª Edição**. Bookman Editora, 2013.

RODRIGUES, Publio Penna Firme. **Parâmetros de Dosagem do Concreto**. ET-67. 3 ed. São Paulo: IBRACON-Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998.

TORALLES, Berenice Martins et al. **Estudo comparativo de diferentes métodos de dosagem de concretos convencionais**. Revista de engenharia e tecnologia, v. 10, n. 1, p. 184-198, 2018.