



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO**  
**CENTRO DE ENGENHARIAS**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ANNE PRISCILA DE CASTRO BEZERRA BARBALHO**

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE  
CONCRETOS PRODUZIDOS COM BRITA GRANÍTICA E COM SEIXO ROLADO  
PARA UMA MESMA FAIXA DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO**

**MOSSORÓ – RN**

**2017**

**ANNE PRISCILA DE CASTRO BEZERRA BARBALHO**

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE  
CONCRETOS PRODUZIDOS COM BRITA GRANÍTICA E COM SEIXO ROLADO  
PARA UMA MESMA FAIXA DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO**

Trabalho Final de Graduação ao Conselho do  
Curso de Engenharia Civil da Universidade  
Federal Rural do Semi-Árido, como requisito  
parcial para obtenção do Título de Graduado  
em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Alisson  
Gadelha de Medeiros  
Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Marília  
Pereira de Oliveira

MOSSORÓ – RN

2017

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

B228a Barbalho, Anne Priscila de Castro Bezerra.  
Análise comparativa entre as propriedades  
mecânicas de concretos produzidos com brita  
granítica e com seixo rolado para uma mesma faixa  
de resistência à compressão / Anne Priscila de  
Castro Bezerra Barbalho. - 2017.  
60 f. : il.

Orientador: Alisson Gadelha de Medeiros.  
Coorientadora: Marília Pereira de Oliveira.  
Monografia (graduação) - Universidade Federal  
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,  
2017.

1. Concreto endurecido. 2. Concreto fresco. 3.  
Qualidade do concreto. 4. Relação água/cimento. 5.  
Agregado graúdo. I. Medeiros, Alisson Gadelha de,  
orient. II. Oliveira, Marília Pereira de, co-  
orient. III. Título.

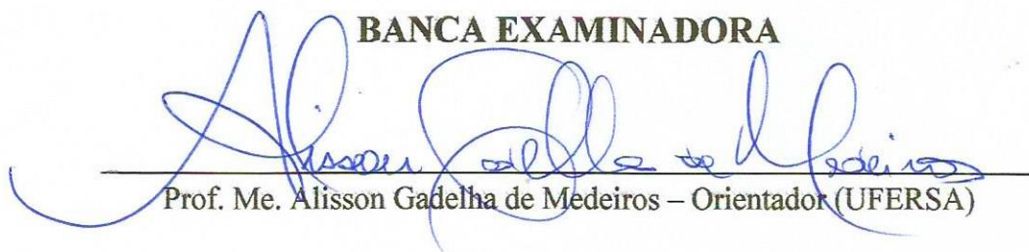
O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

**ANNE PRISCILA DE CASTRO BEZERRA BARBALHO**

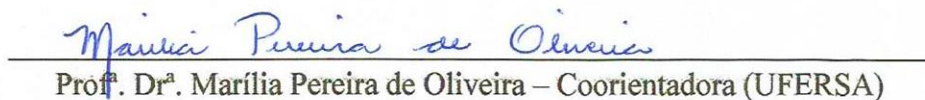
**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE  
CONCRETOS PRODUZIDOS COM BRITA GRANÍTICA E COM SEIXO ROLADO  
PARA UMA MESMA FAIXA DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO**

Trabalho Final de Graduação ao Conselho do  
Curso de Engenharia Civil da Universidade  
Federal Rural do Semi-Árido, como requisito  
parcial para obtenção do Título de Graduado  
em Engenharia Civil.

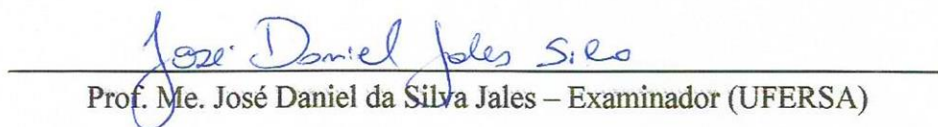
**BANCA EXAMINADORA**



Prof. Me. Alisson Gadelha de Medeiros – Orientador (UFERSA)



Prof. Dr. Marília Pereira de Oliveira – Coorientadora (UFERSA)



Prof. Me. José Daniel da Silva Jales – Examinador (UFERSA)

MOSSORÓ – RN

2017

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE  
CONCRETOS PRODUZIDOS COM BRITA GRANÍTICA E COM SEIXO ROLADO  
PARA UMA MESMA FAIXA DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

**Anne Priscila de Castro Bezerra Barbalho**

Orientador: Prof. Me. Alisson Gadelha de Medeiros

Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Marília Pereira de Oliveira

**RESUMO**

Devido a grande demanda de concreto exigida pelo mercado e a existência de estruturas de concreto armado já muito antigas, torna-se importante e necessária uma avaliação comparativa entre as propriedades do concreto com brita granítica, produzido com brita granítica, mais utilizado no Brasil, atualmente, e do concreto produzido com seixo rolado, concreto utilizado em estruturas existentes há muito tempo. Dessa forma, corpos de prova cilíndricos foram produzidos com ambos os tipos de concreto e submetidos a ensaios de resistência à compressão axial, velocidade de pulso ultrassônico, absorção e porosidade, além de blocos prismáticos também produzidos com os dois tipos de concreto e submetidos ao ensaio de velocidade de pulso ultrassônico e esclerometria. Com os resultados obtidos, verificou-se que os valores de resistência obtidos pelo ensaio de resistência à compressão axial foram abaixo do esperado, sendo em torno de 50 % maior para o concreto com brita granítica. O concreto produzido com seixo rolado apresentou menores índices de absorção e porosidade em comparação com o concreto com brita granítica. Além disso, através do ensaio de ultrassom e de esclerometria, os concretos produzidos foram classificados como homogêneos e de boa qualidade.

**Palavras-chave:** Concreto endurecido, concreto fresco, qualidade do concreto, relação água/cimento, agregado graúdo.

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE  
CONCRETOS PRODUZIDOS COM BRITA E COM SEIXO ROLADO PARA UMA  
MESMA FAIXA DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

**Anne Priscila de Castro Bezerra Barbalho**

Orientador: Prof. Me. Alisson Gadelha de Medeiros

Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Marília Pereira de Oliveira

**ABSTRACT**

How there is a big demand of concrete by the current market and a lot of very old reinforced concrete structures, it becomes important and necessary a comparative evaluation between the properties of the conventional concrete, produced with granite gravel, more used in Brazil today, and of the concrete produced with rolled pebbles, concrete used in long-standing structures. So, cylindrical specimens were produced with both types of concrete and subjected to tests of resistance to axial compression, ultrasonic pulse velocity, absorption and porosity, in addition to prismatic blocks also produced with both types of concrete and submitted to the ultrasonic pulse velocity and sclerometry assay. With the obtained results, it was verified that the resistance values obtained by the test of resistance to the axial compression were below the expected one, being around 50% greater for the concrete with granite gravel. The concrete produced with rolled pebbles had lower rates of absorption and porosity compared to concrete with granite gravel. In addition, through the ultrasound and sclerometry tests, the concretes produced were classified as homogeneous and of good quality.

**Keywords:** Hardened concrete, cool concrete, concrete quality, water cement ratio, large aggregate.

.

## DEDICATÓRIA

*A Deus, único digno de toda honra e toda minha adoração.*

## **AGRADECIMENTOS**

Minha eterna gratidão a Deus, que tem cuidado de mim e me capacitado para chegar até aqui, me dando forças nos momentos mais difíceis.

A meus pais, Noraney e José Hermando, que sempre transbordaram de amor por mim e me deram todo o suporte e apoio necessários para eu persistir nos estudos.

À minha tia Nêna que sempre foi tão presente na minha vida e auxiliou meus pais na minha educação.

Aos amigos que contribuíram para o meu crescimento profissional durante todo o curso, seja em grupos de estudos, trabalhos, no dia a dia, por se mostrarem sempre presentes e dispostos a ajudar.

Ao meu namorado por todo apoio prestado e compreensão, além da ajuda fornecida para os ensaios práticos.

Aos amigos e a minha mãe que contribuíram me ajudando na obtenção do seixo rolado.

Aos amigos e técnicos de laboratório da UFERSA e do IFRN que tanto me auxiliaram na produção do concreto como também nos ensaios de laboratório realizados.

Ao professor Alisson Gadelha de Medeiros pelas orientações e instruções fornecidas durante toda a produção do trabalho e a professora Marília Pereira de Oliveira pelo suporte dado na pesquisa.



## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Fluxograma das etapas que compõem a metodologia da pesquisa. ....                                   | 13 |
| Figura 2: Corpo de prova sendo adensado com haste metálica. ....                                              | 19 |
| Figura 3: Ensaio do abatimento do tronco de cone. ....                                                        | 21 |
| Figura 4: Resultado do ensaio do abatimento do tronco de cone. ....                                           | 21 |
| Figura 5: Ensaio de massa específica do concreto no estado fresco. ....                                       | 22 |
| Figura 6: Retífica para nivelção de superfície. ....                                                          | 23 |
| Figura 7: Equipamento para ensaio de resistência à compressão (a); Corpo de prova<br>sendo ensaiado (b). .... | 24 |
| Figura 8: Aparelho de ultrassom. ....                                                                         | 25 |
| Figura 9: Ensaio de onda ultrassônica. ....                                                                   | 26 |
| Figura 10: Esclerômetro. ....                                                                                 | 27 |
| Figura 11: Ensaio de esclerometria, face menor. ....                                                          | 28 |
| Figura 12: Ensaio de esclerometria, face maior. ....                                                          | 28 |
| Figura 13: Curva granulométrica do agregado miúdo, areia. ....                                                | 31 |
| Figura 14: Curva granulométrica do agregado graúdo, brita granítica. ....                                     | 33 |
| Figura 15: Curva granulométrica do agregado graúdo, seixo rolado. ....                                        | 35 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1: Consumo de material para cada tipo de concreto produzido.....                                                        | 17 |
| Tabela 2: Número de corpos de prova utilizado para cada ensaio realizado.....                                                  | 19 |
| Tabela 3: Velocidade de onda ultrassônica X Qualidade do concreto. ....                                                        | 27 |
| Tabela 4: Análise granulométrica do agregado miúdo, areia. ....                                                                | 30 |
| Tabela 5: Massa específica do agregado miúdo, areia. ....                                                                      | 31 |
| Tabela 6: Massa unitária do agregado miúdo, areia. ....                                                                        | 31 |
| Tabela 7: Análise granulométrica do agregado graúdo, brita granítica.....                                                      | 32 |
| Tabela 8: Massa específica do agregado graúdo, brita granítica. ....                                                           | 33 |
| Tabela 9: Massa unitária do agregado graúdo, brita granítica.....                                                              | 34 |
| Tabela 10: Análise granulométrica do agregado graúdo, seixo rolado. ....                                                       | 34 |
| Tabela 11: Massa específica do agregado graúdo, seixo rolado. ....                                                             | 35 |
| Tabela 12: Massa unitária do agregado graúdo, seixo rolado. ....                                                               | 35 |
| Tabela 13: Massa específica e <i>Slump Test</i> dos concretos produzidos, com brita granítica e com seixo rolado.....          | 36 |
| Tabela 14: Resistência à compressão axial para o concreto com brita granítica e concreto com seixo rolado. ....                | 37 |
| Tabela 15: Velocidade de onda ultrassônica em corpos de prova cilíndricos pelo método direto-concreto com brita granítica..... | 38 |
| Tabela 16: Velocidade de onda ultrassônica em corpos de prova cilíndricos pelo método direto-concreto com seixo rolado. ....   | 39 |
| Tabela 17: Velocidade de onda ultrassônica no bloco prismático pelo método direto, concreto com brita granítica. ....          | 39 |
| Tabela 18: Velocidade de onda ultrassônica no bloco prismático pelo método direto, concreto com seixo rolado.....              | 40 |
| Tabela 19: Velocidade de pulso ultrassônico pelo método indireto.....                                                          | 41 |
| Tabela 20: Resultados do ensaio de esclerometria nos blocos de concreto com brita granítica e com seixo rolado.....            | 42 |
| Tabela 21: Absorção e porosidade, concreto com brita granítica.....                                                            | 43 |
| Tabela 22: Absorção e porosidade, concreto com seixo rolado. ....                                                              | 43 |

## SUMÁRIO

|                                                                          |           |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1.INTRODUÇÃO .....</b>                                                | <b>1</b>  |
| 1.1. JUSTIFICATIVA .....                                                 | 2         |
| 1.2.OBJETIVOS .....                                                      | 2         |
| <b>1.2.1.Objetivo Geral .....</b>                                        | <b>2</b>  |
| <b>1.2.2.Objetivos Específicos.....</b>                                  | <b>2</b>  |
| <b>2.REVISÃO DA LITERATURA .....</b>                                     | <b>4</b>  |
| 2.1. CONCRETO.....                                                       | 4         |
| <b>2.1.1. Materiais empregados .....</b>                                 | <b>4</b>  |
| 2.1.1.1.Água .....                                                       | 4         |
| 2.1.1.2.Aditivos e adições.....                                          | 5         |
| 2.1.1.3.Agregados .....                                                  | 5         |
| 2.1.1.4.Cimento .....                                                    | 6         |
| <b>2.1.2. Dosagem .....</b>                                              | <b>7</b>  |
| 2.2. PROPRIEDADES DO CONCRETO .....                                      | 8         |
| 2.3. ENSAIOS.....                                                        | 9         |
| <b>2.3.1. Abatimento do tronco de cone.....</b>                          | <b>9</b>  |
| <b>2.3.2. Ensaio de ultrassom .....</b>                                  | <b>10</b> |
| <b>2.3.3. Esclerometria.....</b>                                         | <b>11</b> |
| <b>2.3.4. Resistência à compressão axial.....</b>                        | <b>11</b> |
| <b>3. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>                                      | <b>13</b> |
| 3.1. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS .....                                  | 13        |
| <b>3.1.1. Areia .....</b>                                                | <b>14</b> |
| <b>3.1.2. Brita granítica e Seixo rolado.....</b>                        | <b>15</b> |
| <b>3.1.3 Cimento .....</b>                                               | <b>16</b> |
| <b>3.1.4. Água.....</b>                                                  | <b>16</b> |
| 3.2. PRODUÇÃO DOS CONCRETOS.....                                         | 17        |
| <b>3.2.1. Traços utilizados.....</b>                                     | <b>17</b> |
| <b>3.2.2. Moldagem dos corpos de prova e dos blocos de concreto.....</b> | <b>17</b> |
| 3.3. ENSAIOS DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO.....                           | 20        |
| <b>3.3.1. Slump Test e Massa Específica .....</b>                        | <b>20</b> |

|                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.4. ENSAIOS DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO.....                                                  | 23 |
| 3.4.1. Resistência a Compressão Axial ( $f_c$ ) .....                                               | 23 |
| 3.4.2. Ensaio de velocidade do pulso ultrassônico .....                                             | 24 |
| 3.4.3. Ensaio de Esclerometria .....                                                                | 27 |
| 3.4.4. Ensaio de Absorção e Porosidade .....                                                        | 29 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....                                                                     | 30 |
| 4.1. CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO .....                                                         | 30 |
| 4.1.1. Análise Granulométrica.....                                                                  | 30 |
| 4.1.2. Massa Específica e Massa Unitária .....                                                      | 31 |
| 4.2. CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO – BRITA GRANÍTICA..                                          | 32 |
| 4.2.1. Análise Granulométrica.....                                                                  | 32 |
| 4.2.2. Massa Específica e Massa Unitária .....                                                      | 33 |
| 4.3. CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO – SEIXO ROLADO .....                                         | 34 |
| 4.3.1. Análise Granulométrica.....                                                                  | 34 |
| 4.3.2. Massa Específica e Massa Unitária .....                                                      | 35 |
| 4.4. CARACTERIZAÇÃO DOS CONCRETOS COM BRITA GRANÍTICA E COM SEIXO ROLADO NO ESTADO FRESCO .....     | 36 |
| 4.4.1. <i>Slump Test</i> e Massa Específica .....                                                   | 36 |
| 4.5. CARACTERIZAÇÃO DOS CONCRETOS COM BRITA GRANÍTICA E COM SEIXO ROLADO NO ESTADO ENDURECIDO ..... | 37 |
| 4.5.1. Ensaio de Resistência à Compressão axial.....                                                | 37 |
| 4.5.2. Ensaio de Ultrassom.....                                                                     | 38 |
| 4.5.3. Ensaio de esclerometria .....                                                                | 41 |
| 4.5.4. Ensaio de Absorção e Porosidade .....                                                        | 43 |
| 5.CONCLUSÕES.....                                                                                   | 45 |
| REFERÊNCIAS .....                                                                                   | 46 |

## 1.INTRODUÇÃO

O concreto de cimento Portland é um dos compósitos mais utilizados em diversos países. Com efeito, ele é considerado como o material estrutural mais importante da construção civil, pois possui grande versatilidade no que diz respeito a arquitetura moderna, além de ser um material durável e de fácil manutenção (ISAIA, 2010).

Com isto, é de fundamental importância a escolha adequada dos componentes do concreto, a fim de se obter um material econômico, através do uso de materiais locais, e que possua as características requeridas no projeto, como por exemplo, possuir resistência a agressões químicas ambientais. Por isso, em algumas regiões, como nas terras baixas de grandes áreas da Amazônia, quando há ausência de brita, o seixo rolado torna-se uma alternativa atrativa (FUSCO, 2008).

Neste sentido, é relevante que a tecnologia empregada na produção do concreto seja difundida, com o objetivo de se obter um material com propriedades satisfatórias de acordo com sua aplicação, no que tange a qualidade. Para tanto, o modo de mistura, de transporte, de lançamento e de adensamento, além do conhecimento de suas propriedades e de seu comportamento, tornam-se essenciais para produzir um concreto com uma consistência que permita seu adensamento e ao mesmo tempo evite sua segregação (NEVILLE & BROOKS, 2013).

Segundo Carvalho e Figueiredo Filho (2015), diante deste contexto, para conhecer as propriedades do concreto produzido, devem ser realizados ensaios em seu estado fresco, a fim de obter informações sobre consistência, trabalhabilidade e homogeneidade, bem como no seu estado endurecido, para então obter sua densidade, compacidade, permeabilidade e resistência.

Desta forma, a partir dos resultados desses ensaios, é possível analisar estruturas de concreto produzido com diferentes tecnologias e materiais, comparar suas propriedades, bem como elaborar medidas que possam ser usadas na manutenção e na necessidade de eventuais reparos, em vista dos aspectos da durabilidade.

## 1.1.JUSTIFICATIVA

Com a existência de muitas estruturas de concreto produzidas com seixo rolado, como em edificações históricas e pontes, por exemplo, há algumas décadas, se faz necessário pesquisar as propriedades desse tipo de concreto, a fim de se realizar manutenções e reparos adequados dessas estruturas, de acordo com o seu nível de deterioração.

Além disso, é interessante, principalmente no mercado atual onde se buscam por diversas alternativas de produção de concreto, dependendo do objetivo a ser alcançado, conhecer melhor outras formas de sua produção, como a variação de seus componentes, substituindo a brita granítica, forma convencional, por outro tipo de agregado graúdo, que pode ser de mais fácil acessibilidade dependendo da região. Por isso, diante deste contexto, tem-se a necessidade de uma avaliação de caráter comparativo entre as propriedades desses dois tipos de concreto.

## 1.2.OBJETIVOS

### 1.2.1.Objetivo Geral

Realizar uma análise comparativa entre as propriedades mecânicas de concretos no estado fresco e endurecidas, para dois tipos de agregados graúdos: brita granítica e seixo rolado.

### 1.2.2.Objetivos Específicos

- Caracterizar os materiais empregados;
- Produzir os concretos com brita e seixo rolado com traços diferentes, mas para alcançar mesma faixa de resistência à compressão;
- Realizar ensaios no estado fresco dos concretos produzidos: *slump test* e massa específica;

- Realizar ensaios no estado endurecido dos concretos produzidos: absorção e porosidade, velocidade de pulso ultrassônico e resistência à compressão nas idades (3,7 e 28 dias), e esclerometria aos 28 dias.
- Comparar os resultados obtidos em ambos os concretos produzidos.

## **2.REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1.CONCRETO**

O concreto é produzido através da mistura adequada de cimento, agregados, grãos e finos, e água (CARVALHO E FIGUEIREDO FILHO, 2015). Para Neville e Brooks (2013), o cimento mais utilizado para a fabricação do concreto é o Portland.

O concreto simples é caracterizado por ter uma resistência razoável à compressão, normalmente, entre 20 e 40 MPa, como consta na ABNT NBR 6118/2014, e baixa resistência à tração, geralmente menor que 1/10 de sua resistência à compressão.

Recena (2015) faz uma análise macroscópica e microscópica a respeito do concreto. Macroscopicamente é visto como um material bifásico, onde partículas de agregados ficam dispersas em uma matriz de cimento. Uma terceira fase é notada a nível microscópico, chamada zona de transição, uma espécie de interface entre as partículas de agregado grão e a pasta de cimento. Segundo Mehta e Monteiro (1994), dentre essas três fases, a zona de transição tende ser a mais fraca, possuindo de 10 a 50 micrometros de espessura envolvendo o agregado grão, e apesar de ser uma camada delgada tem grande influência no comportamento mecânico do concreto.

#### **2.1.1. Materiais empregados**

Basicamente, são empregados na fabricação do concreto, cimento, agregados (miúdos e grãos) e água. Em algumas ocasiões, pode ser empregado o uso de aditivos com o objetivo de melhorar as propriedades do concreto e adições em substituição de parte do cimento (ALVES, 2002).

##### **2.1.1.1.Água**

A quantidade de água é muito importante na dosagem do concreto, pois é ela e a sua relação com a quantidade de ligante que irá determinar as principais características do concreto, tais como a densidade, compactidade, porosidade, permeabilidade, capilaridade, fissuração e resistência mecânica, que resumidamente podem classificar um material como durável ou não (SOUZA E RIPPER, 1998).



#### 2.1.1.2. Aditivos e adições

Os aditivos são usados, geralmente, em estado líquido junto com a água de amassamento, e sua dosagem é comumente expressa em porcentagem da quantidade de cimento utilizada na mistura. Dentre os tipos de aditivos mais utilizados estão os aceleradores, os retardadores, os incorporadores de ar, os redutores de água e os superplastificantes (NEVILLE, 2015).

Com o objetivo de reduzir os custos, aumentar a resistência mecânica e aumentar a durabilidade das estruturas de concreto, adições minerais (matérias-primas misturadas ao clínquer no processo de moagem) são empregadas no concreto em substituição da massa de cimento, como, por exemplo, as escórias de alto-forno, os materiais pozolânicos e carbonáticos (BASTOS, 2006).

#### 2.1.1.3. Agregados

Alves (2002) divide os agregados de acordo com sua origem: naturais ou artificiais. São exemplos de naturais a areia, os cascalhos e a pedra britada; enquanto que as escórias de alto forno, a argila expandida e o poliestireno expandido são exemplos de artificiais.

Ainda segundo a norma ABNT NBR 7211/2009, agregado graúdo é aquele que possui partículas que passam na peneira de 75mm e ficam retidas na peneira de 4,75 mm, enquanto agregado miúdo, possui partículas que passam pela peneira de 4,75 mm, porém são maiores que 75  $\mu$ m (peneira nº200).

Dentre os agregados graúdos existentes, o mais comum é a pedra britada, popularmente conhecida por brita, que pode possuir origem mineralógica de granitos, gnaisses, basaltos, traquitos, cascalhos (LIMA *et al*, 2003).

A brita é tida como um agregado graúdo que é abundante na natureza e apresenta baixo valor unitário. Sua mineração ocorre por todo o Brasil, sendo uma das atividades extrativas mais importantes do setor mineral do país. Além disso, estudos revelam que a brita representa, em média, 2% do custo total de uma obra, embora represente 60 % do seu volume (ALMEIDA, LUZ, 2009).

Outro tipo de agregado graúdo, que substitui a brita em muitos lugares na produção de concreto, é o seixo rolado. Esse é um material encontrado na natureza, em fundos dos leitos dos rios e jazidas e que possui diâmetro entre 4,8 mm e 76mm (BAUER, 2012). Além disso, por possuir forma arredondada, resulta na fabricação de concretos com menor índice de vazios, demandando menor quantidade de pasta para envolver o agregado e menor quantidade de água para se obter a mesma trabalhabilidade de um concreto produzido com brita basáltica. Embora isso seja um fator que melhore a resistência, sua forma arredondada pode dificultar a aderência dos materiais e conseqüentemente prejudicar a ligação da zona de interface pasta/agregado (CARNEIRO; BARATA; PICANÇO, 2002).

#### 2.1.1.4.Cimento

Quanto ao cimento, Metha e Monteiro (1994) explica que é um material finamente pulverizado que ao ser hidratado desenvolve propriedades ligantes, não conseguindo desempenhar o papel de aglomerante se estiver sozinho. Sendo chamado hidráulico uma vez que em meio aquoso, seus produtos de hidratação permanecem estáveis.

De acordo com Souza e Ripper (1998), as características químicas e físicas do cimento (finura, expansibilidade, composição potencial, presença de cal livre, de óxido de magnésio, etc), influenciam intimamente os fenômenos de expansão, retração e fissuração. Além disso, também influencia sua resistência química, ou seja, sua capacidade de resistir aos diferentes agentes químicos como água do mar, salinidade do ar e poluição atmosférica.

O cimento Portland é o nome dado ao cimento obtido pela mistura íntima de calcário, argila ou outros materiais silicosos, alumina, e materiais que contêm óxido de ferro. Essa mistura é queimada à temperatura de clínquerização, sendo o material resultante dessa queima, o clínquer (NEVILLE & BROOKS, 2013).

Posteriormente, segundo Mehta e Monteiro (1994), a operação final do processo de obtenção do cimento Portland consiste em pulverizar o clínquer a uma

média de partículas de 10 e 15  $\mu\text{m}$ . A operação é realizada em moinhos de bolas ou moinhos de acabamento. Aproximadamente 5% de gesso é incorporado ao clínquer a fim de controlar o tempo de pega inicial e o endurecimento do cimento.

### **2.1.2. Dosagem**

A dosagem de um concreto tem por objetivo determinar as proporções adequadas dos diferentes materiais que devem ser misturados a fim de obter as características e propriedades exigidas no projeto (MONTROYA, MESEGUER & CABRÉ, 2010).

Allen e Iano (2009) ainda enfatiza a importância de estabelecer as características desejadas de trabalhabilidade para o concreto fresco, além de suas propriedades físicas desejadas no seu estado endurecido e o custo aceitável como ponto de partida da dosagem de um concreto.

A proporção entre os diversos constituintes é buscada pela tecnologia do concreto, para atender simultaneamente as propriedades mecânicas, físicas e de durabilidade requeridas para o concreto, além das características de trabalhabilidade necessárias para o transporte, lançamento e adensamento, condições estas que variam caso a caso (ISAIA, 2010).

Existem, porém, métodos que são utilizados para se fazer um proporcionamento adequado do concreto, dentre eles, podem ser citados o método da ABCP/ACI (desenvolvido pelo American Concrete Institute e adaptado pelo engenheiro Públio Penna Firme Rodriguez para a realidade nacional na Associação Brasileira de Cimento Portland); método do INT (desenvolvido no Instituto Nacional de Tecnologia do Rio de Janeiro pelo professor Fernando Luiz Lobo Carneiro); método IPT/EPUSP (desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo e posteriormente adaptado e divulgado pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo).

## 2.2. PROPRIEDADES DO CONCRETO

As principais propriedades do concreto no estado fresco são a consistência, a trabalhabilidade e a homogeneidade (CARVALHO & FIGUEIREDO FILHO, 2015).

A consistência pode ter mais do que uma definição, em seu livro, Bauer (2012) exemplifica duas dessas definições. Uma diz que consistência é a capacidade de o concreto ou argamassa escoar; enquanto que a outra explica essa propriedade como “a resistência de um material não newtoniano à deformação”.

Já a trabalhabilidade está muito ligada as propriedades de consistência e homogeneidade com a mistura de seus diversos componentes e com a maior ou menor facilidade que o concreto apresenta para alcançar uma compacidade máxima (MONTROYA, MESEGUER & CABRÉ, 2010).

Balbo (2009) explica a trabalhabilidade do concreto como sendo a resistência que a própria massa do concreto opõe ao seu movimento através da ação da gravidade. De forma prática, é fornecida pela medida da consistência do concreto fresco ao se fazer o ensaio de abatimento do tronco de cone (Slump test), que equivale a diferença entre a altura inicial do concreto, e a altura final depois da retirada do cone de compactação que envolve a massa fresca.

A homogeneidade é definida por Alves (2002) como sendo a propriedade que mantém as características do concreto fresco em toda sua massa, tanto quando está sendo fabricado quanto durante a concretagem. É uma propriedade garantida pela coesão que une o material grão a grão.

Dentre as propriedades do concreto endurecido, está a resistência à compressão e sua durabilidade. A resistência à compressão é a propriedade do concreto adotada por ocasião do dimensionamento da estrutura, estando diretamente ligada à segurança e a estabilidade estrutural (PACHECO, HELENE, 2013).

Enquanto que a durabilidade está intimamente relacionada com o conceito de vida útil, em que uma estrutura é considerada de longa durabilidade quando sua vida útil for pelo menos igual a vida útil requerida na fase de projeto (BERTOLINI, 2010).

## 2.3. ENSAIOS

A fim de obter resultados mais confiáveis quando se trata de investigar as propriedades do concreto das estruturas, a melhor forma é se utilizando de ensaios em sítio como tem sido feito em diversos países. Esse tipo de ensaio depende muito do conhecimento e, também, da experiência do profissional que realiza o ensaio, além de se utilizar das curvas adotadas que correlacionam as medições do ensaio com a resistência do concreto (EVANGELISTA, 2002).

Existem também outros métodos de ensaio que não causam dano no elemento ensaiado, são os chamados ensaios não destrutivos. Esses não causam dano algum no elemento ensaiado, nem provocam perdas da capacidade resistente da peça, além de não fornecerem diretamente a medida de uma determinada propriedade, havendo necessidade de fazer correlações entre o resultado obtido pelo ensaio e a propriedade a ser estimada. Podem ser utilizados em estruturas novas no monitoramento da evolução da resistência ou verificação da qualidade do concreto e em estruturas já existentes, permitindo avaliar a integridade e capacidade de resistência às solicitações (CÂMARA, 2006).

Para alguns ensaios não destrutivos é possível realizar no corpo de prova primeiramente o ensaio não destrutivo, como o ultrassom, e, em seguida, o ensaio para obter a resistência à compressão. No entanto, na maioria dos casos, os ensaios são realizados em separado, tendo-se corpos de prova distintos para os ensaios de resistência a compressão e para os ensaios não destrutivos. É, entretanto, extremamente importante que ambos os grupos de corpos de prova tenham mesmas condições de compactação e maturidade. As condições de cura devem assegurar que a temperatura interna desenvolvida nos corpos de prova seja similar (ACI 228.1R, 1989).

### 2.3.1. Abatimento do tronco de cone

De acordo com a norma ABNT NBR NM 67/1998 - “Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone”, o ensaio permite verificar a consistência do concreto. A determinação do abatimento é muito importante, pois indica

se o concreto pode, ou não, ser aplicado. Um valor acima do especificado pode indicar excesso de água ou variação da qualidade dos agregados do concreto.

### **2.3.2. Ensaio de ultrassom**

Um exemplo de ensaio não destrutivo, mas bastante difundido é o ultrassônico que se baseia na propagação de ondas sonoras de alta frequência pelo material analisado. A velocidade das ondas vai variar de acordo com a quantidade de poros e vazios, possibilitando a detecção de discontinuidades. A ideia é projetar o som para dentro do material, medindo o tempo até que o mesmo se propague até um outro ponto qualquer. Sendo a distância entre os pontos conhecida, determina-se, em seguida, a velocidade média no trecho de propagação, que vai depender de fatores como a natureza do material, a porosidade do mesmo, a presença ou não de água nos poros, entre outros. Dessa forma, esse ensaio serve para caracterizar um material, sua integridade e outras propriedades físicas, tornando-se uma técnica bastante usada para o controle de qualidade, detecção de defeitos, medição de espessuras ou caracterização dos materiais constituintes do concreto, segundo explica a norma americana ASTM E 114-95 (ASTM, 1995).

Quanto maior a velocidade de onda, maior será a compacidade do concreto, porém, segundo Mehta e Monteiro (1994) e Neville (2015), no caso do concreto, a relação entre velocidade de propagação de onda ultrassônica e resistência à compressão não é muito confiável devido as inúmeras variáveis que podem afetar a resistência do material, como, por exemplo, a relação água-cimento, o tamanho e tipo do agregado, o procedimento de moldagem, o tamanho da amostra e o tipo de cimento, mas apesar disso pode ser usado com segurança para avaliar a uniformidade do concreto em uma estrutura. Além disso, podem ser utilizados de forma indireta, quando se tem acesso a apenas uma das faces, mas é preferencial que os transdutores sejam colocados em faces opostas para se obter uma melhor resposta, diminuindo os riscos de perda ou perturbação do sinal.

### 2.3.3. Esclerometria

Na esclerometria usa-se um dispositivo conhecido como o *Rebound Schmidt Hammer* que mede a repercussão de uma massa de mola impactando a extremidade livre de um êmbolo que é mantido contra a superfície do concreto. O martelo causa um impacto sobre o êmbolo, e a massa controlada pela mola sofre um recuo, reflexão ou rebote após o choque, registrando certo valor numérico, denominado índice esclerométrico ou índice de reflexão, dependendo da rigidez da mola e da massa selecionada. Esse ensaio permite a determinação da qualidade do concreto e de sua resistência à compressão (BUNGEY & MILLARD, 2006).

A esclerometria é um ensaio baseado no princípio da dependência da reflexão (recuo) de uma massa elástica com a dureza da superfície contra a qual a massa colidiu. O funcionamento se dá pelo impulsionamento de uma massa por uma mola que possui determinada quantidade de energia transmitida pela extensão da mola até uma posição estabelecida. Isso é feito pela pressão de uma haste contra uma superfície lisa de concreto firmemente apoiada. Após a liberação, o recuo da massa da haste e a distância percorrida pela massa, expressa como uma porcentagem da extensão inicial da mola, é denominada índice esclerométrico. A haste deve estar sempre normal à superfície do concreto, e a posição relativa do esclerômetro em relação à vertical afeta o índice esclerométrico devido à influência da gravidade na massa móvel (NEVILLE e BROOKS, 2013).

Para Neville (2015), tudo indica que o tipo de agregado utilizado na fabricação do concreto influencia na dureza superficial do concreto para um determinado índice esclerométrico. Assim, a resistência à compressão é maior para um concreto feito com agregado calcário do que um concreto feito com agregado de seixo silicoso.

### 2.3.4. Resistência à compressão axial

O ensaio de resistência à compressão axial, ensaio destrutivo, em corpos de prova cilíndricos é normatizado pela ABNT NBR 5739 (2007), e a ABNT NBR 5738 (2015), prescreve os métodos de como esses corpos de prova devem ser moldados. Segundo a ABNT NBR 5739 (2007), os corpos de prova devem ser mantidos em

processo de cura úmida ou saturada, nas condições preconizadas, até atingir a idade requerida para o ensaio.

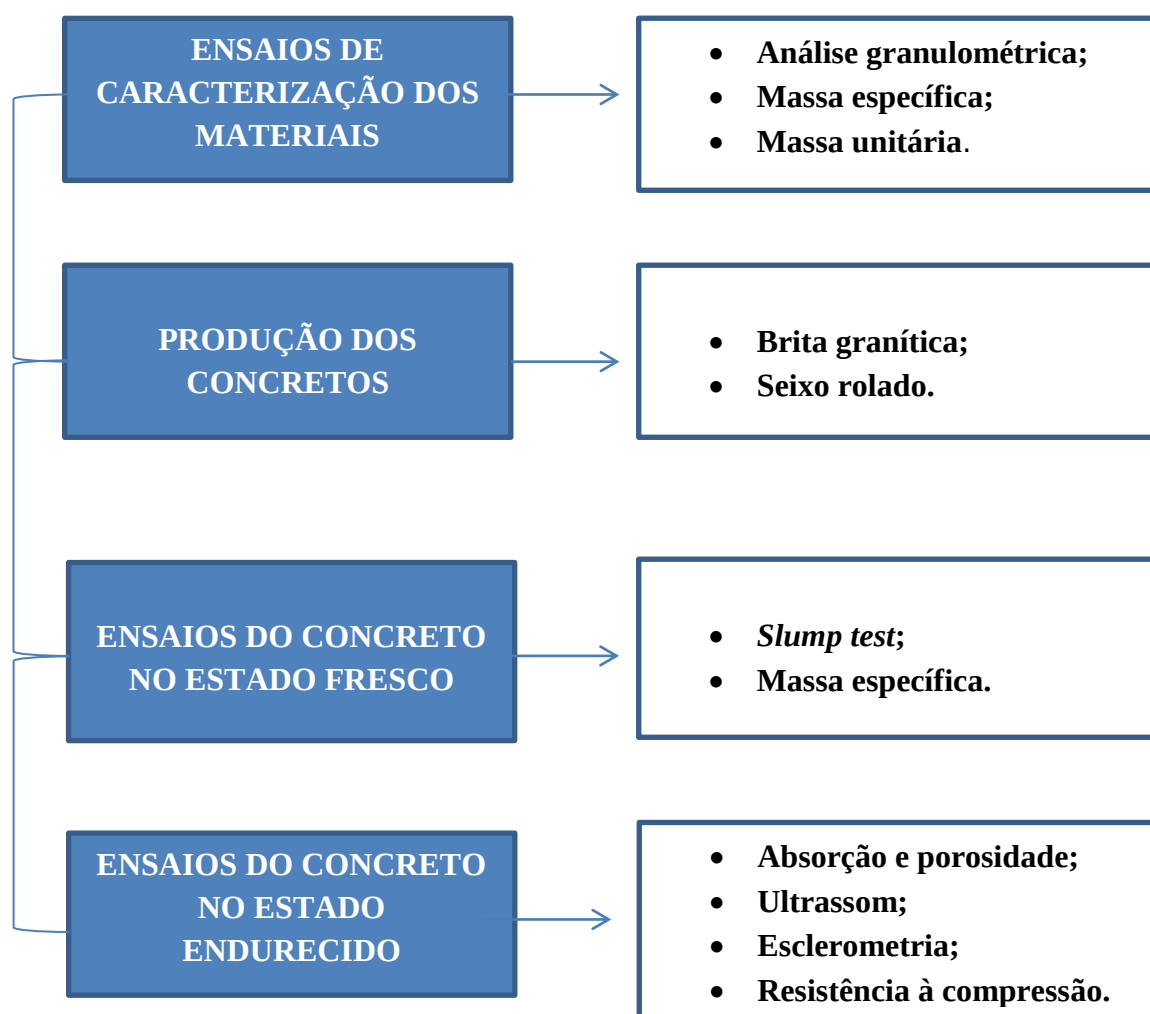
Os ensaios de compressão uniaxial são normalmente realizados sobre corpos de prova nas dimensões de 150 x 300 mm ou 100 x 200 mm (diâmetro x altura) (BALBO, 2009).



### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Com a finalidade de poder comparar as propriedades de ambos os concretos produzidos, foram feitos ensaios desde a caracterização dos materiais utilizados na produção de cada tipo de concreto até ensaios no estado endurecido de ambos os concretos. Abaixo, na Figura 1, o fluxograma ilustra melhor as etapas dessa pesquisa:

Figura 1: Fluxograma das etapas que compõem a metodologia da pesquisa.



Fonte: Autora (2017).

#### 3.1. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Nessa primeira etapa foi feita a caracterização dos agregados utilizados para a produção de ambos os concretos: o com brita granítica e com seixo rolado. Foram

caracterizados segundo os ensaios de análise granulométrica, massa específica real e massa unitária.

A quantidade de material utilizado na análise granulométrica foi definida de acordo com a ABNT NBR NM 26/2009 e foram ensaiadas duas amostras de cada material conforme recomenda a ABNT NBR NM 27/2001.

### **3.1.1. Areia**

Para a análise granulométrica do agregado miúdo, a areia, foram seguidas as recomendações da ABNT NBR 248/2003 “Agregados – Determinação da Composição Granulométrica”. Foram utilizadas, então, duas amostras de 500 gramas para o peneiramento nesse ensaio, obtida da região vizinha ao laboratório de ensaio de materiais da Ufersa.

Conforme recomenda a norma citada anteriormente, a massa de material retido em cada peneira foi pesada e colocada em uma tabela, a fim de poder verificar a distribuição granulométrica do material, obter o módulo de finura e a dimensão máxima característica.

Para a massa específica da areia, foi utilizado o ensaio do frasco de Chapman, normatizado pela ABNT NBR NM 52/2009 “Agregados – Determinação da massa específica e massa específica aparente”, onde foram ensaiadas duas amostras de 500 gramas do material.

Ao final do ensaio, de posse das informações obtidas, calcula-se a massa específica pela equação 1, abaixo, fornecida pela norma utilizada para esse tipo de ensaio:

$$\gamma = \frac{500}{L - 200} \quad (1)$$

Onde:

$\gamma$  = massa específica do agregado miúdo, em g/cm<sup>3</sup>;

$L$  = leitura do frasco (nível alcançado pela água no frasco após a inserção da areia), em  $\text{cm}^3$ .

E finalmente, para estimar a massa unitária da areia, de acordo com a ABNT NBR NM 45/2006 “Determinação da massa unitária e do volume de vazios”, utilizou-se um caixote com volume conhecido de  $15 \text{ dm}^3$ . Seguindo as orientações da norma, a massa unitária é fornecida pela divisão entre a massa de areia contida no caixote e o volume do caixote utilizado. Foram ensaiadas duas amostras, e o resultado final foi obtido pela média aritmética das duas amostras.

### **3.1.2. Brita granítica e Seixo rolado**

Para a brita granítica e o seixo rolado, agregados graúdos, foram utilizadas as peneiras da série normal, na análise granulométrica de acordo com a ABNT NBR 248/2003 “Agregados – Determinação da Composição Granulométrica”. Foram ensaiadas duas amostras, de cada material, de 5kg, conforme recomenda a ABNT NBR 7211/2009 “Agregados para concreto – Especificação”. Ambos os materiais foram devidamente peneirados na peneira com abertura de 19 mm, diâmetro máximo recomendado para agregados graúdos utilizados na fabricação de concreto, de acordo com a ABNT NBR 6118/2014. O ensaio objetiva fornecer, além das porcentagens retidas do material em cada peneira, o módulo de finura e o diâmetro máximo.

Foram obtidos, aproximadamente, 90 kg de seixo rolado que foram catados um a um no terreno do interior da Ufersa; quanto a brita granítica, foi utilizada a brita fornecida pela própria Ufersa para ensaios de laboratório. Ambos os materiais foram armazenados no laboratório de ensaios de materiais da Ufersa.

Para determinar a massa específica dos agregados graúdos, foi utilizada as especificações da ABNT NBR NM 53/2009 “Massa específica, massa específica aparente e absorção do agregado graúdo”. Foi utilizado uma massa de, no mínimo, 3 kg para cada tipo de agregado. Seguindo as orientações da norma, ao final do ensaio, obtêm-se os dados necessários para o cálculo da massa específica aparente do agregado, o qual se utiliza da equação 2, abaixo, fornecida pela própria norma:

$$d_a = \frac{A}{A - B} \quad (2)$$

Onde: A=massa do material seco na estufa;

B=massa do material pesado na balança hidrostática.

Com relação a massa unitária, para a brita e o seixo rolado, foi utilizado um caixote de 15 dm<sup>3</sup> de volume, como recomenda a ABNT NBR NM 45/2006, “Determinação da massa unitária e do volume de vazios”. O ensaio foi feito duas vezes para cada material. Portanto, seguindo as orientações da norma citada, a massa unitária foi obtida através da divisão da massa do agregado pelo volume do caixote, fornecida em g/dm<sup>3</sup>.

### 3.1.3 Cimento

O cimento utilizado na fabricação de ambos os concretos, com brita granítica e com seixo rolado, foi o cimento pozolânico CP – IV 32 RS, resistente a sulfatos, e que deve atingir uma resistência de 32 MPa aos 28 dias. Sua caracterização pode ser obtida diretamente com o fabricante. Foi utilizado apenas um saco de cimento de 50 kg.

Foi escolhido esse tipo de cimento devido a sua disponibilidade ser próxima ao local onde foram produzidos os concretos. Ficou armazenado dentro do laboratório de ensaios de materiais da Ufersa, protegido do calor e de chuvas.

Foram utilizados 24,5 kg de cimento para confeccionar os corpos de prova do concreto com brita granítica e 17,2 kg, para os corpos de prova do concreto com seixo rolado.

### 3.1.4. Água

A água utilizada na produção de ambos os tipos de concreto foi a água potável disponível para o próprio laboratório de ensaios de materiais da Ufersa. Tendo em vista que a relação água/cimento adotada para produção dos concretos foi de 0,65,

utilizou-se 15,92 litros de água para a produção do concreto com brita granítica e 11,2 litros de água para o concreto com seixo rolado.

### 3.2. PRODUÇÃO DOS CONCRETOS

#### 3.2.1. Traços utilizados

Na segunda etapa, foi feita a produção dos concretos. O traço escolhido para a confecção do concreto com brita granítica foi o 1:2:3, para uma relação água/cimento de 0,65, tendo como base pesquisas anteriores de Silva (2015), Souza (2007), Lima (2013) e Sampaio (2013,) os quais puderam constatar características desejáveis de resistência mecânica para essa mistura, além de ser econômica e de fácil preparo.

Para o concreto moldado com a utilização de seixo rolado, o traço escolhido foi o de 1:3,2:4,3 para a mesma relação água/cimento de 0,65 utilizada na produção do concreto com brita granítica, baseando-se no trabalho de Trigo (2012), pois fornecia concreto com faixa de resistência à compressão, próximo a 20 MPa, semelhante ao traço escolhido para o concreto com brita granítica.

#### 3.2.2. Moldagem dos corpos de prova e dos blocos de concreto

Primeiro, todo o material foi devidamente separado e pesado, respeitando o traço escolhido para cada tipo de concreto. A Tabela 1, abaixo, mostra a quantidade de material utilizado para cada tipo de concreto produzido:

Tabela 1: Consumo de material para cada tipo de concreto produzido.

| <b>Material</b>      | <b>Concreto com brita granítica</b> | <b>Concreto com seixo rolado</b> |
|----------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| Cimento (Kg)         | 24,50                               | 17,20                            |
| Areia (Kg)           | 49,00                               | 54,40                            |
| Agregado graúdo (Kg) | 73,50                               | 74,50                            |
| Água (L)             | 15,92                               | 11,20                            |

Fonte: Autora (2017).

A areia foi peneirada na peneira com abertura de malha de 4,75 mm e os agregados graúdos, brita e seixo rolado, peneirados na peneira de 19 mm. Foi utilizada uma betoneira de eixo inclinado com 120 litros de capacidade, umedecida antes da mistura do material a fim de evitar perda da água de amassamento. Como o volume de concreto a ser produzido era maior do que o volume da betoneira disponível, foi feito o mesmo traço duas vezes para cada tipo de concreto.

Tanto na fabricação do concreto com brita granítica quanto na do concreto com seixo rolado, os materiais foram colocados na betoneira de acordo com a seguinte ordem, com a betoneira já ligada:

- 1- Metade da quantidade da água de amassamento;
- 2- Agregado graúdo;
- 3- Cimento;
- 4- Agregado miúdo;
- 5- A outra metade da quantidade de água de amassamento.

Após a colocação de todo o material, a betoneira permaneceu ligada, até a obtenção de uma mistura homogênea, por um período de 5 minutos. O concreto formado foi despejado em uma bacia de alumínio e após os ensaios realizados em seu estado fresco, iniciou-se a moldagem dos corpos de prova.

Foram moldados 12 corpos de prova cilíndricos de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura e um bloco prismático de 30 cm de largura, 40 cm de comprimento e 30 cm de altura, para cada tipo de concreto produzido. Previamente à moldagem, foi passado óleo mineral em todos os moldes que se fizeram necessários, a fim de facilitar a desmoldagem.

Na Tabela 2 abaixo, verifica-se a quantidade de corpos de prova utilizada para cada tipo de ensaio, tanto para o concreto com brita granítica quanto para o concreto com seixo rolado:

Tabela 2: Número de corpos de prova utilizado para cada ensaio realizado.

| Ensaio                             | Corpos de prova cilíndricos |        |         | Blocos prismáticos |
|------------------------------------|-----------------------------|--------|---------|--------------------|
|                                    | 3 dias                      | 7 dias | 28 dias | 28 dias            |
| Resistência à compressão/Ultrassom | 2                           | 2      | 2       | 0                  |
| Absorção e porosidade              | 2                           | 2      | 2       | 0                  |
| Ultrassom/Esclerometria            | 0                           | 0      | 0       | 1                  |
| Total:                             |                             | 12     |         | 1                  |

Fonte: Autora (2017).

A moldagem dos corpos cilíndricos foi feita seguindo as orientações da ABNT NBR 5738/2015 “Concreto-procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova”. Abaixo, a Figura 2 mostra o adensamento feito por meio de haste metálica conforme recomenda a norma citada:

Figura 2: Corpo de prova sendo adensado com haste metálica.



Fonte : Autora (2017).

Para moldar o bloco prismático, o concreto foi colocado até o preenchimento total do molde e vibrado com vibrador mecânico até obtenção de uma superfície homogênea, como recomenda a ABNT NBR 5738/2015 “Concreto-procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova”.

A desmoldagem de todos os corpos de prova cilíndricos foi feita após 24 horas desde a sua produção, e colocados em processo de cura por imersão total em água por um período de 3, 7 e 28 dias, quando se realizava os ensaios no estado endurecido do concreto. Já para os blocos prismáticos, a desmoldagem ocorreu 24 horas após a sua produção e foram colocados em processo de cura por imersão total por 28 dias para em seguida se realizarem os ensaios no estado endurecido do concreto.

### 3.3. ENSAIOS DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO

#### 3.3.1. *Slump Test* e Massa Específica

O *Slump Test*, abatimento do tronco de cone, foi feito imediatamente após o concreto ser despejado na bacia de alumínio, seguindo as instruções fornecidas pela ABNT NBR NM 67/1998 “Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone”.

Sobre uma placa de base foi colocado um molde em forma de tronco de cone e o operador se posicionou com os pés sobre as aletas do molde para mantê-lo estável. Logo em seguida, o molde foi sendo preenchido pelo concreto em 3 camadas sucessivas de forma que cada camada possuísse  $\frac{1}{3}$  do volume do cone. Em cada camada, antes de ser colocada a camada seguinte, foram aplicados 25 golpes uniformemente distribuídos com a haste de socamento para efetuar a compactação. A última camada foi preenchida além da altura do cone e finalizada com o rasamento da superfície. A Figura 3, abaixo, mostra o instante antes da retirada do molde:



Figura 3: Ensaio do abatimento do tronco de cone.



Fonte: Autora (2017).

Em seguida, o molde é retirado do concreto, cuidadosamente, na vertical. Então, para se obter o resultado do ensaio, ou seja, o abatimento do concreto, verifica-se a diferença entre a altura do molde e a altura do eixo do corpo de prova desmoldado, como mostra a Figura 4.

Figura 4: Resultado do ensaio do abatimento do tronco de cone.



Fonte: Autora (2017).

Para se calcular a massa específica, seguiu-se o procedimento discutido na ABNT NBR 9833/2008 “Concreto fresco – Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico”. Primeiro, pesou-se um molde cilíndrico vazio. Depois, o molde foi preenchido com concreto em 3 camadas sucessivas, sendo aplicados em cada camada 25 golpes, bem distribuídos, com uma haste metálica. Após a limpeza da superfície do molde, pesou-se o conjunto molde mais concreto (Figura 5) e em seguida, subtraiu-se o valor do peso do conjunto do valor do peso do molde vazio para obtenção da massa de concreto.

Figura 5: Ensaio de massa específica do concreto no estado fresco.



Fonte: Autora (2017)

A massa específica é fornecida pela divisão da massa de concreto pelo volume ocupado, que, nesse caso, corresponde ao volume do molde cilíndrico. Veja a equação 3, abaixo, fornecida por essa norma para os devidos cálculos:

$$\rho_{ap} = \left( \frac{m}{V} \right) 1000 \quad (3)$$

Onde:

$\rho_{ap}$  = massa específica aparente do concreto, em Kg/m<sup>3</sup>;

$m$  = massa de concreto, em kg;

$V$  = volume do recipiente, em dm<sup>3</sup>.

### 3.4. ENSAIOS DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

Após serem moldados, os corpos de prova cilíndricos e os blocos prismáticos foram desmoldados depois de 24 horas e colocados em processo de cura por imersão total em água. Os ensaios realizados nessa etapa foram feitos aos 3, 7 e 28 dias, após sua confecção, nos corpos de prova cilíndricos (resistência à compressão axial, velocidade de onda ultrassônica, porosidade e absorção) e aos 28 dias, nos blocos prismáticos (velocidade de onda ultrassônica e esclerometria).

#### 3.4.1. Resistência a Compressão Axial ( $f_c$ )

Para realizar esse ensaio, foi utilizada como base a ABNT NBR 5739/2007 “Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos”. Os corpos de prova cilíndricos, dois para cada idade, precisaram ter sua superfície regularizada, por isso, fez-se necessário o uso de uma retífica, Figura 6, a fim de nivelar a superfície mais rugosa.

Figura 6: Retífica para nivelção de superfície.



Fonte: Autora (2017).

Em seguida, os corpos de prova foram postos em uma prensa hidráulica, da marca EMIC, (Figura 7), um de cada vez, onde uma força de compressão começou a agir sobre ele até que ocorresse o rompimento. Ao final do ensaio, o resultado é fornecido pelo valor da força, em MPa, necessária para romper o corpo de prova quando submetido á compressão axial.

Figura 7: Equipamento para ensaio de resistência à compressão (a); Corpo de prova sendo ensaiado (b).



Fonte: Autora (2017).

### 3.4.2. Ensaio de velocidade do pulso ultrassônico

Esse ensaio foi realizado segundo a ABNT NBR 8802/1994 “Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica” tendo como principais aplicações a verificação da homogeneidade do concreto, detecção de possíveis falhas internas de concretagem, profundidade de fissuras e até mesmo outras imperfeições, além de poder monitorar as variações no concreto, ao longo do tempo, decorrentes da agressividade do meio.

O aparelho utilizado para esse ensaio foi o Pundit Lab, da PROCEQ (Figura 8), que possui dois transdutores, um receptor e outro emissor das ondas ultrassônicas.

Figura 8: Aparelho de ultrassom.



Fonte: Autora (2017).

Suas características são apresentadas abaixo:

- Medição do tempo de trânsito:
  - Gama: 0,1 – 9999  $\mu$ s
  - Resolução: 0,1  $\mu$ s
  - Display: 79 x 21 mm OLED de matriz passiva
  - Transmissor: Pulso de excitação otimizado 125V, 250V, 350V, 500V, AUTO
- Receptor:
  - Ganho: 1x, 10x, 100x, AUTO
  - Largura da Banda: 20 kHz – 500 kHz

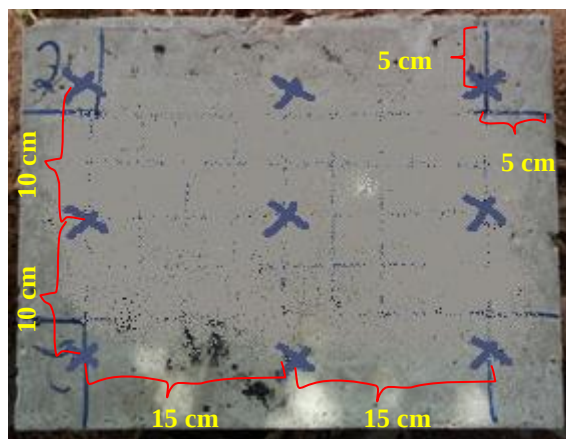
Conforme recomenda a norma, os corpos de provas devem ter sua superfície preparada, ou seja, nivelada, sem desníveis. Para isso, a superfície mais rugosa dos corpos de prova cilíndricos foi retificada e as superfícies que foram ensaiadas dos blocos de concreto foram lixadas. Em seguida, todo o material pulverulento foi removido para o início do ensaio.

Para os corpos de prova cilíndricos, foi utilizado o método direto, onde cada transdutor foi colocado em cada extremo do eixo longitudinal, 20 cm de comprimento, e em seguida, foi verificada a velocidade de propagação do pulso ultrassônico através do concreto.

Nos blocos de concreto, esse ensaio foi feito de forma direta, onde os transdutores ficavam posicionados no centro de faces opostas umas as outras, e de forma indireta, quando os transdutores ficavam postos na mesma face em uma mesma linha horizontal.

No caso da forma indireta, o ensaio foi realizado somente nas quatro maiores faces, 30 cm x 40 cm, em três linhas dispostas horizontalmente, espaçadas 10 cm entre si, e sendo desconsiderados os 5cm iniciais das extremidades das faces (Figura 9).

Figura 9: Ensaio de onda ultrassônica.



Fonte: Autora (2017).

Os transdutores eram posicionados a uma distância de 15 cm entre si, inicialmente, e depois, mantendo o primeiro transdutor na mesma posição, o outro era afastado dele por 30 cm. Dai, verificava-se o tempo necessário que o pulso ultrassônico levava para percorrer 15 cm e depois 30 cm. Com posse dessas informações, foi possível calcular a velocidade média nesse trecho. Assim, em cada face, fez-se a média entre as velocidades encontradas para cada um dos três trechos horizontais traçados.

Através desses valores é possível estimar a qualidade do concreto utilizando a Tabela 3 abaixo:



Tabela 3: Velocidade de onda ultrassônica X Qualidade do concreto.

| Velocidade de propagação linear (m/s) | Qualidade do concreto |
|---------------------------------------|-----------------------|
| $V > 4500$                            | Excelente             |
| $3500 < V < 4500$                     | Ótimo                 |
| $3000 < V < 3500$                     | Bom                   |
| $2000 < V < 3000$                     | Regular               |
| $V < 2000$                            | Ruim                  |

Fonte: Adaptado de I. Lawson *et al.*, (2011).

### 3.4.3. Ensaio de Esclerometria

Esse ensaio foi realizado somente nos blocos de concreto, tanto para o com brita granítica quanto para o com seixo rolado, tendo como base a ABNT NBR 7584 (1995) “Avaliação da dureza superficial: Ensaio com esclerômetro de reflexão”. O modelo utilizado para esse ensaio foi o 58-C0181/N Concrete Hammer da Controls, veja a Figura 10 abaixo:

Figura 10: Esclerômetro.



Fonte: Autora (2017).

As superfícies ensaiadas foram, previamente, polidas e toda poeira e pó foram removidos. Nas duas faces menores, cujas dimensões foram de 30 cm x 30 cm (Figura 11), foi feita uma malha de 4 linhas por 4 colunas, totalizando 16 pontos. Nas quatro faces maiores, de 30 cm x 40 cm (Figura 12), foram feitas duas malhas de 4 linhas por 4 colunas, cada uma, totalizando 32 pontos.

Figura 11: Ensaio de esclerometria, face menor.



Fonte: Autora (2017).

Figura 12: Ensaio de esclerometria, face maior.



Fonte: Autora (2017).

Segundo recomenda a norma, o ensaio deve ser feito utilizando o esclerômetro posicionado de forma ortogonal à superfície de ensaio, onde o impacto do esclerômetro sobre a superfície ensaiada fornece o índice esclerométrico correspondente ao número de recuo do martelo.

Utilizando a média dos índices esclerométricos de cada face, calculada de acordo como aconselha a norma, é possível estimar a resistência à compressão se utilizando de tabelas fornecidas pelo manual do aparelho esclerométrico.



### 3.4.4. Ensaio de Absorção e Porosidade

Esse ensaio foi realizado somente nos corpos de prova cilíndricos, seguindo as orientações fornecidas pela ABNT NBR 9778/2005 “Argamassa e concreto endurecidos: Determinação da absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica”.

O primeiro passo para o início desse ensaio foi colocar os corpos de prova cilíndricos em uma estufa por 72 horas seguidas. Ao final desse período, cada corpo de prova foi pesado individualmente a fim de se obter a massa do corpo de prova seco na estufa. Após a pesagem, os corpos de prova foram colocados imersos em água por 72 horas seguidas, e na sequência, foram fervidos em água por 5 horas ininterruptas e pesados na balança hidrostática obtendo-se, dessa forma, a massa do corpo de prova saturado e imerso em água. Após a pesagem na balança hidrostática, os corpos de prova foram secos com um pano úmido e pesados, obtendo-se a massa do corpo de prova saturado.

Com posse dessas informações, torna-se possível calcular a porcentagem de absorção e porosidade (índice de vazios) do material, utilizando, respectivamente, as equações 4 e 5, abaixo, fornecidas pela norma:

- Absorção

$$\left( \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \right) 100 \quad (4)$$

- Índice de vazios

$$\left( \frac{M_{sat} - M_s}{M_{sat} - M_i} \right) 100 \quad (5)$$

Onde:

$M_{sat}$  = Massa do corpo de prova saturado;

$M_s$  = Massa do corpo de prova seco em estufa;

$M_i$  = Massa do corpo de prova saturado e imerso em água.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO

#### 4.1.1. Análise Granulométrica

Na Tabela 4 abaixo, é possível verificar os resultados obtidos do ensaio de granulometria do agregado miúdo.

Tabela 4: Análise granulométrica do agregado miúdo, areia.

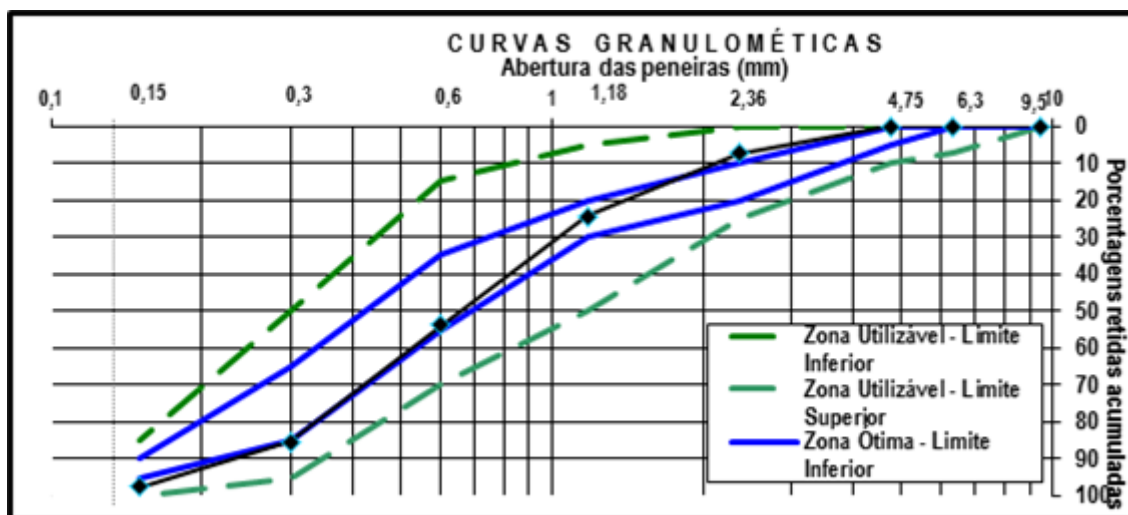
| Composição granulométrica do agregado miúdo |                  |           |                             |                              |                            |                                           |            |                    |            |
|---------------------------------------------|------------------|-----------|-----------------------------|------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------|------------|--------------------|------------|
| Abertura das peneiras (mm)                  | Massa retida (%) |           | Variação das % retidas <=4% | Média das massas retidas (%) | Massa retida acumulada (%) | Faixas em relação as % retidas acumuladas |            |                    |            |
|                                             |                  |           |                             |                              |                            | Limites inferiores                        |            | Limites Superiores |            |
|                                             | Amostra 1        | Amostra 2 |                             |                              |                            | Zona utilizável                           | Zona ótima | Zona utilizável    | Zona ótima |
|                                             |                  |           |                             |                              |                            |                                           |            |                    |            |
| 9,5                                         | 0                | 0         | 0                           | 0                            | 0                          | 0                                         | 0          | 0                  | 0          |
| 6,3                                         | 0                | 0         | 0                           | 0                            | 0                          | 0                                         | 0          | 0                  | 7          |
| 4,75                                        | 0                | 0         | 0                           | 0                            | 0                          | 0                                         | 0          | 5                  | 10         |
| 2,36                                        | 7,64             | 7,24      | 0,4                         | 7,44                         | 7,44                       | 0                                         | 10         | 20                 | 25         |
| 1,18                                        | 16,4             | 17,46     | 1,06                        | 16,93                        | 24,37                      | 5                                         | 20         | 30                 | 50         |
| 0,6                                         | 29,24            | 29,52     | 0,28                        | 29,38                        | 53,75                      | 15                                        | 35         | 55                 | 70         |
| 0,3                                         | 31,62            | 31,54     | 0,08                        | 31,58                        | 85,33                      | 50                                        | 65         | 85                 | 95         |
| 0,15                                        | 12,48            | 12,02     | 0,46                        | 12,25                        | 97,58                      | 85                                        | 90         | 95                 | 100        |
| Fundo                                       | 2,62             | 2,22      | 0,4                         | Módulo de finura:            | 2,68                       | Dimensão máxima característica (mm):      |            |                    | 4,75       |

Fonte: Autora (2017).

De acordo com os resultados obtidos, verifica-se que o agregado miúdo em questão possui módulo de finura igual a 2,68, estando dentro do intervalo mencionado pela NBR 7211/2009, de 2,20 a 2,90. Já a dimensão máxima característica foi de 4,75 mm. Ambos os valores obtidos se enquadram aos recomendados pela ABNT NBR 7211/2009, indicando que é um agregado miúdo adequado na utilização da produção de concreto.

Na Figura 13, abaixo, verifica-se a curva granulométrica desse agregado miúdo, e observa-se que ele encontra-se dentro da zona ótima de utilização.

Figura 13: Curva granulométrica do agregado miúdo, areia.



Fonte: Autora (2017).

#### 4.1.2. Massa Específica e Massa Unitária

Cada um desses ensaios se utilizou de duas amostras, portanto, o resultado foi obtido através da média das duas amostras, como pode ser observado nas Tabelas 5 e 6 abaixo.

Tabela 5: Massa específica do agregado miúdo, areia.

| Amostra | Massa específica (Kg/dm <sup>3</sup> ) |
|---------|----------------------------------------|
| 1       | 2,48                                   |
| 2       | 2,62                                   |
| Média   | 2,55                                   |

Fonte: Autora (2017).

Tabela 6: Massa unitária do agregado miúdo, areia.

| Amostra | Massa unitária (Kg/dm <sup>3</sup> ) |
|---------|--------------------------------------|
| 1       | 1,56                                 |
| 2       | 1,50                                 |
| Média   | 1,53                                 |

Fonte: Autora (2017).

A massa específica foi dada pela média encontrada para as duas amostras, resultando no valor de 2,55 Kg/dm<sup>3</sup>. Esse valor se encaixa na faixa de valores encontrados em pesquisas como as de Trigo (2012), Silva (2015) e Moura (2000).

A massa unitária média do agregado miúdo foi de 1,53 Kg/dm<sup>3</sup> valor condizente aos encontrados em outras pesquisas como a de Silva (2015), Trigo (2012) e Moura (2000).

## 4.2. CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO – BRITA GRANÍTICA

### 4.2.1. Análise Granulométrica

Os resultados desse ensaio foram organizados conforme mostra a Tabela 7 abaixo:

Tabela 7: Análise granulométrica do agregado graúdo, brita granítica.

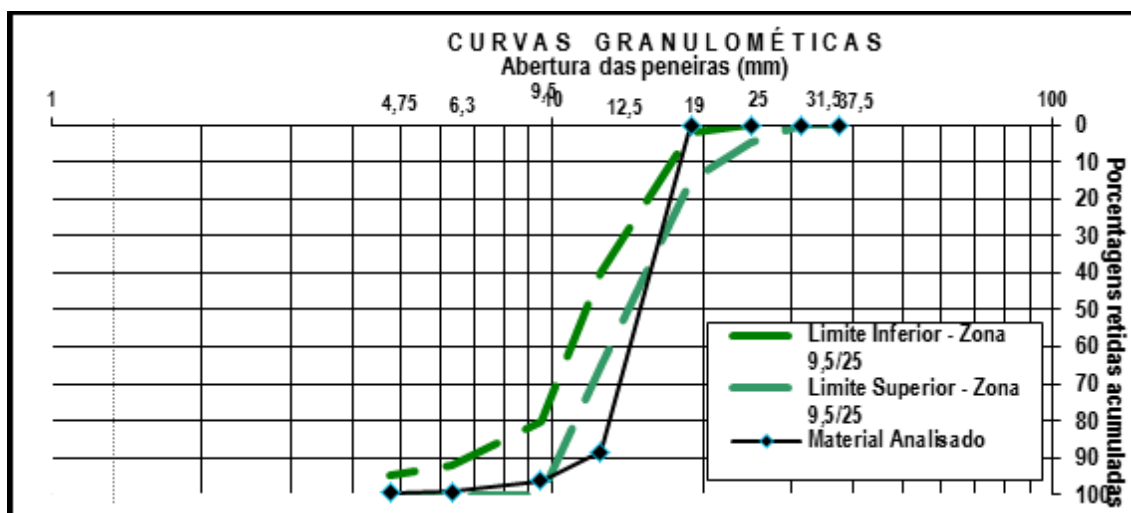
| Composição granulométrica do agregado graúdo, brita granítica |                  |           |                             |                              |                            |                                                                 |        |         |        |         |
|---------------------------------------------------------------|------------------|-----------|-----------------------------|------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------|---------|--------|---------|
| Abertura das peneiras (mm)                                    | Massa retida (%) |           | Variação das % retidas <=4% | Média das massas retidas (%) | Massa retida acumulada (%) | Porcentagem retida acumulada (em massa) Zona granulométrica d/D |        |         |        |         |
|                                                               | Amostra 1        | Amostra 2 |                             |                              |                            | 4,75/12,5                                                       | 9,5/25 | 19/31,5 | 25/50  | 37,5/75 |
| 75                                                            | 0                | 0         | 0                           | 0                            | 0                          |                                                                 |        |         |        | 0-5     |
| 63                                                            | 0                | 0         | 0                           | 0                            | 0                          |                                                                 |        |         |        | 5-30    |
| 50                                                            | 0                | 0         | 0                           | 0                            | 0                          |                                                                 |        |         | 0-5    | 75-100  |
| 37,5                                                          | 0                | 0         | 0                           | 0                            | 0                          |                                                                 |        |         | 5-30   | 90-100  |
| 31,5                                                          | 0                | 0         | 0                           | 0                            | 0                          |                                                                 |        | 0-5     | 75-100 | 95-100  |
| 25                                                            | 0                | 0         | 0                           | 0                            | 0                          |                                                                 | 0-5    | 5-25    | 87-100 |         |
| 19                                                            | 0                | 0         | 0                           | 0                            | 0                          |                                                                 | 2-15   | 65-95   | 95-100 |         |
| 12,5                                                          | 88,016           | 88,626    | 0,61                        | 88,321                       | 88,321                     | 0-5                                                             | 40-65  | 92-100  |        |         |
| 9,5                                                           | 8,136            | 7,806     | 0,33                        | 7,971                        | 96,292                     | 2-15                                                            | 80-100 | 95-100  |        |         |
| 6,3                                                           | 3,372            | 2,282     | 1,09                        | 2,827                        | 99,119                     | 40-65                                                           | 92-100 |         |        |         |
| 4,75                                                          | 0,302            | 0,63      | 0,328                       | 0,466                        | 99,585                     | 80-100                                                          | 95-100 |         |        |         |
| 2,36                                                          | 0                | 0         | 0                           | 0                            | 99,585                     | 95-100                                                          |        |         |        |         |
| Fundo                                                         | 0,174            | 0,656     | 0,482                       | Módulo de finura:            | 4,83                       | Dimensão máxima característica (mm):                            |        |         |        | 19      |

Fonte: Autora (2017).

Com a análise dos resultados, é possível observar que o módulo de finura da brita granítica é igual a 4,83 e a dimensão máxima característica desse agregado é igual a 19 mm.

Ainda é possível verificar que a maior parte do agregado em questão está compreendido na faixa da brita 1, na zona granulométrica 9,5/25, como mostra o gráfico da Figura 14, abaixo:

Figura 14: Curva granulométrica do agregado graúdo, brita granítica.



Fonte: Autora (2017).

#### 4.2.2. Massa Específica e Massa Unitária

Assim como foi feito com o agregado miúdo, para a brita granítica, também foram utilizadas duas amostras, portanto, o resultado final é apresentado como sendo a média dessas amostras, como mostra as Tabelas 8 e 9 abaixo:

Tabela 8: Massa específica do agregado graúdo, brita granítica.

| Amostra | Massa específica<br>(Kg/dm <sup>3</sup> ) |
|---------|-------------------------------------------|
| 1       | 2,68                                      |
| 2       | 2,66                                      |
| Média   | 2,67                                      |

Fonte: Autora (2017).

Tabela 9: Massa unitária do agregado graúdo, brita granítica.

| Amostra | Massa unitária<br>(Kg/dm <sup>3</sup> ) |
|---------|-----------------------------------------|
| 1       | 1,45                                    |
| 2       | 1,44                                    |
| Média   | 1,45                                    |

Fonte: Autora (2017).

Os valores encontrados acima, tanto para a massa específica quanto para a massa unitária, são condizentes com os valores encontrados por França (2011), Lima (2013) e Souza (2007) em suas respectivas pesquisas.

#### 4.3. CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO – SEIXO ROLADO

##### 4.3.1. Análise Granulométrica

Na Tabela 10 são fornecidos os dados do resultado do ensaio de granulometria do seixo rolado utilizado nessa pesquisa.

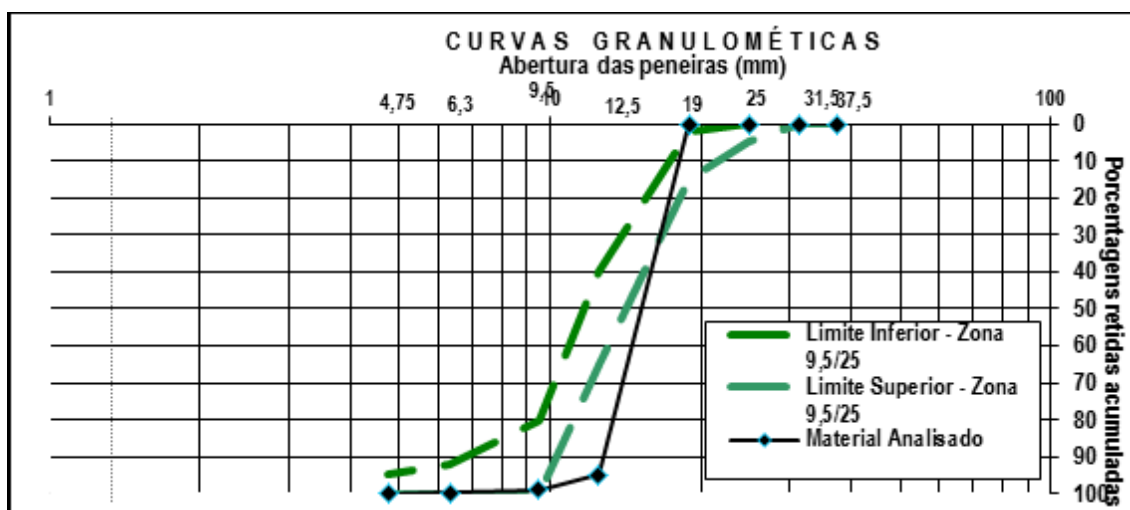
Tabela 10: Análise granulométrica do agregado graúdo, seixo rolado.

| Composição granulométrica do agregado graúdo, seixo rolado |              |           |                             |                              |                            |                                         |        |         |        |         |
|------------------------------------------------------------|--------------|-----------|-----------------------------|------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------|--------|---------|--------|---------|
| Abertura das peneiras (mm)                                 | Massa retida |           | Variação das % retidas <=4% | Média das massas retidas (%) | Massa retida acumulada (%) | Porcentagem retida acumulada (em massa) |        |         |        |         |
|                                                            | Amostra 1    | Amostra 2 |                             |                              |                            | Zona granulométrica d/D                 |        |         |        |         |
|                                                            |              |           |                             |                              |                            | 4,75/12,5                               | 9,5/25 | 19/31,5 | 25/50  | 37,5/75 |
| 75                                                         | 0            | 0         | 0                           | 0                            | 0                          |                                         |        |         |        | 0-5     |
| 63                                                         | 0            | 0         | 0                           | 0                            | 0                          |                                         |        |         |        | 5-30    |
| 50                                                         | 0            | 0         | 0                           | 0                            | 0                          |                                         |        |         | 0-5    | 75-100  |
| 37,5                                                       | 0            | 0         | 0                           | 0                            | 0                          |                                         |        |         | 5-30   | 90-100  |
| 31,5                                                       | 0            | 0         | 0                           | 0                            | 0                          |                                         |        | 0-5     | 75-100 | 95-100  |
| 25                                                         | 0            | 0         | 0                           | 0                            | 0                          |                                         | 0-5    | 5-25    | 87-100 |         |
| 19                                                         | 0            | 0         | 0                           | 0                            | 0                          |                                         | 2-15   | 65-95   | 95-100 |         |
| 12,5                                                       | 94,592       | 94,98     | 0,388                       | 94,786                       | 94,786                     | 0-5                                     | 40-65  | 92-100  |        |         |
| 9,5                                                        | 4,3          | 4,136     | 0,164                       | 4,218                        | 99,004                     | 2-15                                    | 80-100 | 95-100  |        |         |
| 6,3                                                        | 0,888        | 0,858     | 0,03                        | 0,873                        | 99,877                     | 40-65                                   | 92-100 |         |        |         |
| 4,75                                                       | 0,22         | 0,026     | 0,194                       | 0,123                        | 100                        | 80-100                                  | 95-100 |         |        |         |
| 2,36                                                       | 0            | 0         | 0                           | 0                            |                            | 95-100                                  |        |         |        |         |
| Fundo                                                      | 0            | 0         |                             | Módulo de finura:            | 3,94                       | Dimensão máxima característica (mm):    |        |         |        | 19      |

Fonte: Autora (2017).

Como pode ser observado, o módulo de finura do material em questão é 3,94 e a dimensão máxima característica é de 19 mm. A maior parte do seixo rolado caracterizado encontra-se na faixa de zona granulométrica de 9,5/25, como pode-se observar na curva granulométrica mostrada na Figura 15, abaixo:

Figura 15: Curva granulométrica do agregado graúdo, seixo rolado.



Fonte: Autora (2017).

#### 4.3.2. Massa Específica e Massa Unitária

Para obtenção desses resultados, foi feita a média entre as duas amostras utilizadas para esse agregado, e essas são apresentadas nas Tabelas 11 e 12 abaixo:

Tabela 11: Massa específica do agregado graúdo, seixo rolado.

| Amostra | Massa específica<br>(Kg/dm <sup>3</sup> ) |
|---------|-------------------------------------------|
| 1       | 2,65                                      |
| 2       | 2,63                                      |
| Média   | 2,64                                      |

Fonte: Autora (2017).

Tabela 12: Massa unitária do agregado graúdo, seixo rolado.

| Amostra | Massa unitária<br>(Kg/dm <sup>3</sup> ) |
|---------|-----------------------------------------|
| 1       | 1,56                                    |
| 2       | 1,61                                    |
| Média   | 1,59                                    |

Fonte: Autora (2017).

O valor médio da massa específica do seixo rolado de 2,64 Kg/dm<sup>3</sup> e da massa unitária de 1,59 Kg/dm<sup>3</sup> estão próximos aos valores encontrados na pesquisa de Trigo (2012).

#### 4.4. CARACTERIZAÇÃO DOS CONCRETOS COM BRITA GRANÍTICA E COM SEIXO ROLADO NO ESTADO FRESCO

##### 4.4.1. *Slump Test* e Massa Específica

Nessa seção são mostrados, na Tabela 13, os resultados obtidos a partir dos ensaios de abatimento do tronco de cone (*Slump test*) e da massa específica de ambos os concretos produzidos em seu estado fresco.

Tabela 13: Massa específica e *Slump Test* dos concretos produzidos, com brita granítica e com seixo rolado.

| <b>Tipo de concreto</b> | <b>Massa específica<br/>(Kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>Abatimento do tronco de<br/>cone (cm)</b> |
|-------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Com brita granítica     | 2355,49                                        | 13                                           |
| Com seixo rolado        | 2291,83                                        | 12                                           |

Fonte: Autora (2017).

O abatimento do tronco de cone do concreto com brita granítica e a massa específica encontrada são valores que estão de acordo com a boa trabalhabilidade no momento da moldagem e adensamento dos corpos de provas. Os resultados do abatimento do tronco de cone e da massa específica para o concreto com seixo rolado ficaram bem próximos dos encontrados para o concreto com brita granítica.



#### 4.5. CARACTERIZAÇÃO DOS CONCRETOS COM BRITA GRANÍTICA E COM SEIXO ROLADO NO ESTADO ENDURECIDO

##### 4.5.1. Ensaio de Resistência à Compressão axial

Na Tabela 14, abaixo, encontram-se os resultados obtidos do ensaio de resistência à compressão para os corpos de prova cilíndricos moldados com concreto com brita granítica e com seixo rolado, realizados aos 3, 7 e 28 dias.

Tabela 14: Resistência à compressão axial para o concreto com brita granítica e concreto com seixo rolado.

| Tipo de concreto    | Resistência à compressão (MPa) |       |       |
|---------------------|--------------------------------|-------|-------|
|                     | Tempo (dias)                   |       |       |
|                     | 3                              | 7     | 28    |
| Com brita granítica | 10,71                          | 12,46 | 14,90 |
| Com seixo rolado    | 7,25                           | 7,85  | 9,45  |

Fonte: Autora (2017).

Para os traços utilizados baseados em pesquisas anteriores de Trigo (2012) e Silva (2015), onde os concretos com seixo rolado e com brita granítica chegavam a alcançar valores próximos a 20 MPa, os resultados obtidos ficaram bem abaixo do esperado, principalmente no que diz respeito ao concreto com seixo rolado onde houve um aumento de resistência de apenas 30 % do terceiro dia ao vigésimo oitavo dia, enquanto que o concreto com brita granítica teve um aumento de cerca de 40 % nesse mesmo intervalo de tempo.

A baixa resistência obtida pode ter sido devido ao adensamento que foi feito de forma manual, comprometendo a resistência do concreto. Além do fato de terem sido produzidos dois traços para cada tipo de concreto, o que pode evidenciar características diferentes apesar de utilizarem o mesmo traço, como, por exemplo, o fato da betoneira já estar mais úmida quando na realização do segundo traço, deixando o concreto com uma trabalhabilidade melhor que o primeiro traço, porém, podendo ter aumentado a quantidade de água de amassamento e alterado a relação água/cimento, o que pode justificar a baixa resistência do concreto.

Quanto a resistência à compressão do concreto com seixo rolado ter sido ainda menor do que a do concreto com brita granítica, deve-se ter em vista a questão da aderência matriz/agregado, que no caso do seixo rolado é menor, devido, principalmente, a sua superfície lisa. Além disso, não foi possível realizar a pesquisa de forma totalmente fiel às pesquisas realizadas anteriormente, como as de Trigo (2012) e Silva (2015), começando pela diferença de origem dos seixos rolados utilizados nas pesquisas, visto que essa pesquisa se utilizou de seixo encontrado na região Nordeste do país, enquanto Trigo (2012) se utilizou de seixos da região Sudeste.

Ainda comparando os valores de resistência à compressão axial dos concretos com brita granítica e com seixo rolado, verificou-se que não foi possível atingir a resistência mínima para concreto estrutural, de 20 MPa, conforme prescreve a ABNT NBR 6118/2014.

#### 4.5.2. Ensaio de Ultrassom

Os resultados obtidos com esse ensaio foram expostos em tabelas para melhor entendimento. Nas Tabelas 15 e 16 abaixo, verifica-se os valores de velocidade do pulso ultrassônico nos corpos de prova cilíndricos, feito de forma direta, tanto para o concreto com brita granítica quanto para o que foi moldado com seixo rolado.

Tabela 15: Velocidade de onda ultrassônica em corpos de prova cilíndricos pelo método direto-concreto com brita granítica.

| Idade (dias) | Concreto com brita granítica |      |        |
|--------------|------------------------------|------|--------|
|              | Velocidade (m/s)             |      |        |
|              | CP1                          | CP2  | Média  |
| 3            | 5102                         | 5235 | 5168,5 |
| 7            | 5390                         | 5376 | 5383   |
| 28           | 5633                         | 5449 | 5541   |

Fonte: Autora (2017).

Tabela 16: Velocidade de onda ultrassônica em corpos de prova cilíndricos pelo método direto-concreto com seixo rolado.

| <b>Concreto com seixo rolado</b> |                         |            |              |
|----------------------------------|-------------------------|------------|--------------|
| <b>Idade (dias)</b>              | <b>Velocidade (m/s)</b> |            |              |
|                                  | <b>CP1</b>              | <b>CP2</b> | <b>Média</b> |
| 3                                | 5208                    | 5453       | 5330,5       |
| 7                                | 5633                    | 5633       | 5633         |
| 28                               | 5602                    | 5420       | 5511         |

Fonte: Autora (2017).

Dos valores obtidos deste ensaio, verifica-se que a velocidade de onda ultrassônica aumenta com o passar do tempo no concreto com brita granítica, porém no concreto com seixo rolado, há uma diminuição do sétimo ao vigésimo oitavo dia. Isso pode ter sido ocasionado pelo mau adensamento dos corpos de prova. Outra constatação que pode ser feita é que o concreto com seixo rolado apresenta velocidades maiores do que o concreto com brita granítica.

Esse ensaio também foi realizado em blocos prismáticos de concreto, de forma direta, nas suas faces opostas, portanto em três pares de faces, como ilustrado nas Tabelas 17 e 18 abaixo:

Tabela 17: Velocidade de onda ultrassônica no bloco prismático pelo método direto, concreto com brita granítica.

| <b>Concreto com brita granítica</b> |                  |                     |                         | <b>Média</b> |
|-------------------------------------|------------------|---------------------|-------------------------|--------------|
| <b>Elemento</b>                     | <b>Face/tipo</b> | <b>Idade (dias)</b> | <b>Velocidade (m/s)</b> |              |
| Bloco prismático                    | 1'1              | 28                  | 4671                    | 4785,67      |
|                                     | 2'2              | 28                  | 4909                    |              |
|                                     | 3'3              | 28                  | 4777                    |              |

Fonte: Autora (2017).

Tabela 18: Velocidade de onda ultrassônica no bloco prismático pelo método direto, concreto com seixo rolado.

| Concreto com seixo rolado |           |              |                  | Média   |
|---------------------------|-----------|--------------|------------------|---------|
| Elemento                  | Face/tipo | Idade (dias) | Velocidade (m/s) |         |
| Bloco prismático          | 1'1       | 28           | 4689             | 4904,67 |
|                           | 2'2       | 28           | 5042             |         |
|                           | 3'3       | 28           | 4983             |         |

Fonte: Autora (2017).

Novamente, foram apresentadas velocidades maiores para o concreto com seixo rolado, o que deveria implicar, teoricamente, em uma maior resistência à compressão desse concreto que por possuir forma arredondada, resulta na fabricação de concretos com menor índice de vazios, demandando menor quantidade de pasta para envolver o agregado e menor quantidade de água (CARNEIRO; BARATA; PICANÇO, 2002), porém, segundo Mehta e Monteiro (1994) e Neville (2015), no caso do concreto, a relação entre velocidade de propagação de onda ultrassônica e resistência à compressão não é muito confiável devido as inúmeras variáveis que podem afetar a resistência do material, como, por exemplo, a relação água-cimento, o tamanho e tipo do agregado, o procedimento de moldagem, o tamanho da amostra e o tipo de cimento.

Outro fato que pode explicar maiores velocidades no concreto com seixo rolado, mesmo com a obtenção de menor resistência à compressão, é a questão do seixo rolado ser menos poroso do que a brita granítica, o que pode garantir maiores velocidades nesse material.

Em seguida, na Tabela 19, apresentada abaixo, são fornecidos os resultados da velocidade do pulso ultrassônico realizado de forma indireta nos blocos de concreto com brita granítica e com seixo rolado:

Tabela 19: Velocidade de pulso ultrassônico pelo método indireto.

| <b>Concreto com<br/>brita granítica</b> | <b>Velocidade<br/>média (m/s)</b> | <b>Concreto com<br/>seixo rolado</b> | <b>Velocidade<br/>média (m/s)</b> |
|-----------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Face</b>                             |                                   | <b>Face</b>                          |                                   |
| 1                                       | 4032,50                           | 1                                    | 4638,67                           |
| 2                                       | 4650,50                           | 2                                    | 2673,67                           |
| 3                                       | 2466,00                           | 3                                    | 3013,33                           |
| 4                                       | 4160,50                           | 4                                    | 2322,67                           |
| Média:                                  | 3827,38                           | Média:                               | 3162,08                           |

Fonte: Autora (2017).

Enquanto que pelo método direto, a média da velocidade de pulso ultrassônico foi maior para o concreto com seixo rolado, no método indireto, o concreto com brita granítica obteve mais êxito nesse sentido, apresentando uma média de velocidade cerca de 20% maior do que o concreto com seixo rolado.

A grande variação de velocidade encontrada em uma mesma peça de concreto pelo método indireto, pode-se ter relação com a diferença de concentração de agregado em cada região utilizada durante o ensaio, dessa forma, velocidades maiores devem ter sido encontradas em regiões com mais concentração de agregados.

Através da Tabela 3 fornecida na sessão 3.4.2 desse trabalho, é possível estimar a qualidade do concreto. Assim, os valores da velocidade média do pulso ultrassônico obtidos pelo método direto, tanto para o concreto com brita granítica quanto para o concreto com seixo rolado, são maiores que 4500 m/s, portanto, dizem respeito a um excelente concreto. Já os valores obtidos pelo método indireto, variam de 3162,08 m/s a 3827,38 m/s, oscilando entre bom e ótimo.

#### 4.5.3. Ensaio de esclerometria

Nos resultados desse ensaio são apresentados na Tabela 20, abaixo, os valores das médias dos coeficientes de reflexão obtidos em cada malha traçada nas faces dos blocos. Como orienta a norma, os valores dos índices esclerométricos que diferiam em mais de 10 % com relação a média foram descartados. Áreas em que não foram obtidos

no mínimo 5 valores individuais os quais não diferiram em 10 % da média tiveram seus resultados descartados também, por isso, não constam na Tabela 19, os valores obtidos das malhas 3 A, 4 A, 4B e 6 do bloco de concreto com seixo rolado.

Como pode-se observar na Tabela 19, a maioria das médias obtidas dos índices esclerométricos para as malhas traçadas para ambos os blocos de concreto foram menores do que 20. Tendo em vista que o manual do esclerômetro utilizado só fornece valores com mais precisão para índices esclerométricos a partir de 20, torna-se inviável estimar a resistência do concreto por esse método.

Entretanto, na Tabela 20 também constam índices estatísticos, como média, desvio padrão e coeficiente de variação que podem ser utilizadas para qualificar as variáveis desse ensaio.

Tabela 20: Resultados do ensaio de esclerometria nos blocos de concreto com brita granítica e com seixo rolado.

| <b>Bloco de concreto com brita granítica</b> | <b>Média dos coeficientes de reflexão</b> | <b>Desvio padrão</b> | <b>Coeficiente de variação</b> |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------|--------------------------------|
| Malha 1 <sup>a</sup>                         | 15,13                                     | 1,02                 | 6,77                           |
| Malha 1B                                     | 14,93                                     | 1,03                 | 6,92                           |
| Malha 2B                                     | 16,40                                     | 0,89                 | 5,43                           |
| Malha 2B                                     | 16,67                                     | 1,00                 | 6,00                           |
| Malha 3 <sup>a</sup>                         | 16,83                                     | 1,03                 | 6,12                           |
| Malha 3B                                     | 16,67                                     | 1,03                 | 6,18                           |
| Malha 4 <sup>a</sup>                         | 20,67                                     | 1,00                 | 4,84                           |
| Malha 4B                                     | 19,43                                     | 0,98                 | 5,02                           |
| Malha 5                                      | 22,86                                     | 1,07                 | 4,68                           |
| Malha 6                                      | 17,50                                     | 0,93                 | 5,29                           |
| Média                                        | 17,71                                     | 1,00                 | 5,72                           |
| <b>Bloco de concreto com seixo rolado</b>    | <b>Média dos coeficientes de reflexão</b> | <b>Desvio padrão</b> | <b>Coeficiente de variação</b> |
| Malha 1 <sup>a</sup>                         | 18,89                                     | 1,05                 | 5,58                           |
| Malha 1B                                     | 18,40                                     | 0,84                 | 4,57                           |
| Malha 2 <sup>a</sup>                         | 16,00                                     | 0,00                 | 0,00                           |
| Malha 2B                                     | 15,00                                     | 1,05                 | 7,03                           |
| Malha 3B                                     | 14,00                                     | 0,00                 | 0,00                           |
| Malha 5                                      | 17,60                                     | 0,89                 | 5,06                           |
| Média                                        | 16,65                                     | 0,96                 | 5,56                           |

Fonte: Autora (2017).

Desse modo, no geral, é possível caracterizar tanto o concreto com brita granítica quanto o concreto com seixo rolado com relação a sua qualidade e homogeneidade. Como na amostra foram obtidos coeficientes de variação, em sua maioria, de 4,57 a 7,03, pode-se considerar os concretos produzidos como homogêneos e de boa qualidade, segundo o que consta na norma britânica BS 1881: *Part 202* (1986), que diz que amostras que apresentam coeficientes de variação em um intervalo de 2 a 15%, podem ser consideradas homogêneas e de boa qualidade.

#### 4.5.4. Ensaio de Absorção e Porosidade

Os resultados desse ensaio são apresentados nas Tabelas 21 e 22, onde foi feita a média de duas amostras para cada idade ensaiada, de 3, 7 e 28 dias.

Tabela 21: Absorção e porosidade, concreto com brita granítica.

| <b>Concreto com brita granítica</b> | <b>3 dias</b> | <b>7 dias</b> | <b>28 dias</b> |
|-------------------------------------|---------------|---------------|----------------|
| Absorção (%)                        | 7,98          | 7,36          | 3,38           |
| Porosidade (%)                      | 17,18         | 16,04         | 9,30           |

Fonte: Autora (2017).

Tabela 22: Absorção e porosidade, concreto com seixo rolado.

| <b>Concreto com seixo rolado</b> | <b>3 dias</b> | <b>7 dias</b> | <b>28 dias</b> |
|----------------------------------|---------------|---------------|----------------|
| Absorção (%)                     | 6,74          | 6,50          | 3,51           |
| Porosidade (%)                   | 16,66         | 14,69         | 8,14           |

Fonte: Autora (2017).

Os resultados obtidos foram satisfatórios, visto que com o decorrer do tempo, o concreto ganha resistência juntamente com a diminuição do índice de vazios e, portanto, da porosidade, segundo Neville (2015), e consequentemente, reduz a absorção de água, fato constatado para ambos os tipos de concreto produzidos, embora os índices de absorção e porosidade tenham sido menores no concreto com seixo rolado.

Nas pesquisas de Silva (2015) foram obtidos aos 28 dias, uma porcentagem de 5,8% de absorção de água e 12,4 %, para o concreto com brita granítica. Nesta pesquisa, aos 28 dias, a absorção de água foi de 3,38% e a porosidade de 9,3%, valores ainda menores do que os mencionados por pesquisas anteriores.



## 5.CONCLUSÕES

Após a exposição e comparação dos resultados obtidos com os ensaios realizados nessa pesquisa, tanto para o concreto com brita granítica quanto para o concreto com seixo rolado, foi possível fazer as seguintes constatações:

- Os resultados obtidos para os ensaios no estado fresco dos concretos produzidos foram bem próximos quanto a massa específica e quanto ao abatimento do tronco de cone;
- Os ensaios de caracterização dos agregados mostraram que tanto o agregado miúdo (areia) quanto os agregados graúdos (brita granítica e seixo rolado) estavam adequados para a produção de concreto;
- Os concretos produzidos com brita granítica e com seixo rolado alcançaram, respectivamente, 14,9 MPa e 9,45 MPa aos 28 dias de cura e, portanto, não conseguiram alcançar faixas de resistência próximas a 20 MPa como era esperado com o traço utilizado para cada tipo de concreto, não atendendo, assim, a resistência mínima exigida pela ABNT NBR 6118/2014;
- O concreto com seixo rolado obteve menores resistências à compressão do que o concreto com brita granítica, muito embora os índices de absorção e porosidade tenham sido menores do que o com brita granítica e os valores obtidos do ensaio de ultrassom tenham sido maiores para o concreto com seixo rolado;
- Através do ensaio de ultrassom, também foi possível analisar a qualidade do concreto produzido, obtendo valores os quais correspondem a uma variação entre excelente, ótimo e bom;
- No ensaio de esclerometria não foi possível estimar com precisão a resistência dos concretos produzidos, embora ambos os concretos tenham sido classificados em homogêneos e com boa qualidade quando considerados os coeficientes de variação obtidos através de índices estatísticos.

## REFERÊNCIAS

ABNT (1994) NBR 8802 – Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica. Rio de Janeiro.

ABNT (1995) NBR 7584 – Avaliação da dureza superficial: Ensaio com esclerômetro de reflexão. Rio de Janeiro.

ABNT (1998) NBR NM 67 – Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro.

ABNT (2001) NBR NM 27 – Agregados – Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. Rio de Janeiro.

ABNT (2003a) NBR NM 248 – Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro.

ABNT (2006) NBR NM 45 – Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro.

ABNT (2007) NBR 5739 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro.

ABNT (2008) NBR 9833 – Concreto fresco – Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro.

ABNT (2009) NBR NM 26 – Agregados – Amostragem. Rio de Janeiro.

ABNT (2009b) NBR 7211 – Agregados para concreto – Especificações. Rio de Janeiro.

ABNT (2009c) NBR 9778 – Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro.

ABNT (2009d) NBR NM 52 – Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro.

ABNT (2009e) NBR NM 53 – Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro.

ABNT (2014) NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro.

ABNT (2015) NBR 5738 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro.

ALLEN, E; IANO, J. (2009): Fundamentos da engenharia de edificações: Materiais e métodos. 5. ed. Bookman, Porto Alegre.

ALMEIDA, S. L. M.; LUZ, A.B. (2009): Manual de Agregados para Construção Civil. Centro de Tecnologia Mineral – Ministério da Ciência e Tecnologia, Rio de Janeiro.

ALVES, J. D. (2002): Manual de Tecnologia do Concreto. 4. ed., Editora da UCG, Goiânia.

*American Concrete Institute* ACI - 228 - 1R - 89, 1989, In place methods for determination of strength of concrete, Detroit.

ASTM - American Society for Testing of Materials, 1995, Standard Method for Plane-Strain Fracture Toughness of Metallic Materials.

BALBO, J.T. (2009): Pavimentos de Concreto. Oficina de textos. São Paulo.

BARLUENGA, G; HERNÁNDEZ-OLIVERES, F. (2010): *Self-levelling cement mortar containing grounded slate from quarrying waste. Construction and Building Materials*, n. 24.

BASTOS, P.S.S. (2006): Fundamentos do concreto armado. UNESP. Bauru.

BAUER, L. A. F. (2012): Materiais de construção. 5. ed. ver. LTC– Rio de Janeiro.

BERTOLINI, L. (2010): Materiais de construção: patologia, reabilitação, prevenção. Oficina de Textos. São Paulo.

BRITISH STANDARD. BS 1881: Part 202. Testing concrete: Recommendations for surface hardness testing by rebound hammer. London, British standards institution, 1986.

BUNGEY, J. H.; MILLARD, S. G.; GRANTHAM, M. G. (2006): Testing of concrete in structures. 4 ed., Chapman e Hall, New York.

CÂMARA, E. et al. (2006): Avaliação da resistência à compressão de concretos utilizados na Grande Florianópolis através de ensaios não destrutivos.

CARNEIRO, A. M. P. BARATA, M. S. PICANÇO, M.S. (2002): Análise de propriedades de concretos produzidos com agregados de composição granulométrica otimizada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO. Anais eletrônicos. IBRACON. Belo Horizonte, MG.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. (2015): Cálculo e Detalhamento de Estruturas usuais de Concreto Armado. EduFSCar, 4ª. Ed.

EVANGELISTA, A. C. J. (2002): Avaliação da resistência do concreto usando diferentes ensaios não destrutivos. Tese (Doutorado em Ciências na Construção Civil) Coordenação de Programa de Pós-Graduação em Engenharia-COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

FRANÇA, C. B. (2011): Avaliação de cloretos livres em concretos pelo método de aspersão de solução de nitrato de prata. Dissertação de Mestrado. Universidade Católica de Pernambuco. Recife.

FUSCO, P.B.(2008): Estruturas de Concreto: Solicitações Tangenciais. Editora: PINI. São Paulo.

I. LAWSON, K. A. et al (2011). *Non-Destructive Evaluation of Concrete using Ultrasonic Pulse Velocity. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology.* p. 499-504.

ISAIA, G. (2010): Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. 2 ed. IBRACON.

LIMA, F.B.; BARBOZA, A.S.R.; GOMES, P. C. C.(2003): Produção e controle de qualidade do concreto. Edufal. Maceió.

LIMA, J. F. (2013): Avaliação da incorporação de cinzas de lodo de esgoto como adição mineral em concretos de Cimento Portland. Dissertação (Mestrado),

Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

MEDEIROS *et al* (2014): Uso de argila expandida em substituição ao agregado graúdo natural para a produção de concreto estrutural leve. 56º Congresso Brasileiro do Concreto – IBRACON. Natal.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M.(1994): Concreto: Estrutura Propriedades e Materiais. PINI, São Paulo.

MONTOYA, P.J.; MESEGUER, A.G.; CABRÉ, F.M.; PORTERO, J.C.A. (2012): Hormigón armado. 15 ed. Barcelona: G. Gili.

MOURA, W. A. (2000). Utilização de escória de cobre como adição e como agregado miúdo para concreto. Porto Alegre.

NEVILLE, A. M. (2015): Propriedades do concreto. 5 ed., Bookman. Porto Alegre.

NEVILLE, A.M.; BROOKS, J.J. (2013): Tecnologia no concreto. 2 ed., Bookman. Porto Alegre.

PACHECO, J. HELENE, P. (2013): Boletim Técnico 09- Controle da Resistência do Concreto, ALCONPAT.

RECENA, F. A. P.(2015): Dosagem e controle da qualidade de concretos convencionais de cimento portland. 3ª ed. EDIPUCRS. Porto Alegre.

SAMPAIO, Z. L. M. (2013): Análise do comportamento mecânico de concretos produzidos com incorporação de cinza do bagaço da cana-de-açúcar de variedades sp911049, rb92579 e sp816949. Dissertação (Mestrado), Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

SILVA, J. D. J. (2015): Avaliação da potencialidade de incorporação de lodo de uma indústria de produtos de limpeza como adição mineral em concretos de cimento Portland. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal.

SOUZA, P. A. B. F. (2007): Estudo do comportamento plástico, mecânico, microestrutural e térmico do concreto produzido com resíduo de porcelanato. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. (1998): Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto. 1º ed., PINI. São Paulo.

TRIGO, A. P. M. (2012): Estudo da dopagem de agregados para finalidade de uso em concretos estruturais. Tese de Doutorado – Departamento de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. São Paulo.