

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
COECI - COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

LUCAS AUGUSTO SILVA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO AGREGADO GRAÚDO ARENITO NO  
MÓDULO DE ELASTICIDADE E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO  
CONCRETO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLEDO  
2018

LUCAS AUGUSTO SILVA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO AGREGADO GRAÚDO ARENITO NO  
MÓDULO DE ELASTICIDADE E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO  
CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
como requisito parcial à obtenção do título de  
Bacharel, do curso de Engenharia Civil, da  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Lucas Boabaid Ibrahim

TOLEDO

2018



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso de Nº 164

**Análise da influência do agregado graúdo arenito no módulo de elasticidade e resistência à compressão do concreto**

por

**Lucas Augusto Silva**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 10:20 h do dia **07 de Novembro de 2018** como requisito parcial para a obtenção do título **Bacharel em Engenharia Civil**. Após deliberação da Banca Examinadora, composta pelos professores abaixo assinados, o trabalho foi considerado **APROVADO**.

---

Prof Dr. Carlos Eduardo Tino Balestra  
(UTFPR – TD)

---

Prof Dr. Evandro Marcos Kolling  
(UTFPR – TD)

---

Prof. Dr Lucas Boabaid Ibrahim  
(UTFPR – TD)  
Orientador

---

Visto da Coordenação  
Prof. Dr Fúlvio Natércio Feiber  
Coordenador da COECI

## **AGRADECIMENTOS**

Este trabalho foi um desafio e uma conquista que sem a presença e apoio de várias pessoas não seria capaz de concluir. Por isso, agradeço a todos que colaboraram de alguma forma para que fosse possível a conclusão do curso de Engenharia Civil.

À minha amada Suelen, por estar ao meu lado durante toda esta caminhada, me apoiando, me ouvindo e não permitindo que desistisse deste sonho.

Ao Professor Lucas Boabaid Ibrahim, pela orientação e confiança na execução deste trabalho.

Ao Professor Carlos Eduardo Tino Balestra, que mesmo não sendo orientador, também disponibilizou tempo para ajudar na orientação do trabalho.

Ao meu amigo Gabriel, pelas discussões sobre o trabalho, apoio e amizade.

Ao Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Toledo, em especial aos técnicos Wilson Leobet e Marcos Vinicius Schlichting, pelo apoio técnico para execução dos ensaios.

Ao Laboratório de Química da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) - Toledo, por permitiram o acesso ao equipamento para caracterização química do material.

Ao Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Paranaense (Unipar) -Toledo, pelo apoio técnico para execução dos rompimentos dos corpos de prova.

À empresa Itambé pela disponibilização do cimento utilizado neste trabalho.

Por fim, a todos, que mesmo não citados, me apoiaram durante esta caminhada.

## RESUMO

O objetivo principal deste trabalho foi avaliar a influência do agregado graúdo arenítico na resistência à compressão e módulo de elasticidade do concreto. Para isso foram produzidas duas amostras de 12 corpos de prova cada variando o diâmetro do agregado. Para utilização do agregado foi necessário realizar a caracterização química do mesmo, determinando que esse era potencialmente reativo para reação Álcali/Agregado. Por este motivo, foi utilizado o cimento do tipo CP IV – 32 RS, o qual possui capacidade de combater a reatividade do agregado, para confecção do concreto. Os concretos analisados foram dosados a partir da metodologia da Associação Brasileira de Cimento Portland para uma resistência à compressão característica aos 28 dias de 35 MPa. Os valores obtidos para resistência à compressão foram comparados com o valor de dosagem, além de serem comparados entre si. Os valores medidos do módulo de elasticidade foram comparados com as equações disponibilizadas pela NBR 6118/2003, NBR 6118/2014, ACI 318/2011 e EUROCODE 2/2004.

Palavras-chave: Concreto, arenito, resistência à compressão, módulo de elasticidade

## **ABSTRACT**

The main objective of this work was to evaluate the influence of the sandstone aggregate on the compressive strength and the modulus of elasticity of the concrete. Two samples of 12 specimens were produced, varying the diameter of the aggregate. It was necessary to perform the chemical characterization of the sandstone, determining that it was potentially reactive to the alkali/aggregate reaction. For this reason, the CP IV - 32 RS cement, which has the capacity to combat the reactivity of the aggregate, was used to make the concrete. The analyzed concretes were dosed from the methodology of the Brazilian Association of Portland Cement for a characteristic compressive strength at 28 days of 35 MPa. The values obtained for compressive strength were compared with the dosage value and with each other. The measured values of the modulus of elasticity were compared with the equations provided by NBR 6118/2003, NBR 6118/2014, ACI 318/2011 and EUROCODE 2/2004.

Keywords: Concrete, sandstone, compressive strength, modulus of elasticity

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	5
1.1. JUSTIFICATIVA .....	5
1.2. OBJETIVOS .....	6
1.2.1. Objetivo geral.....	6
1.2.2. Objetivos específicos .....	6
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1. AGREGADO MIÚDO E GRAÚDO .....	7
2.2. PROPRIEDADES DOS AGREGADOS .....	7
2.2.1. Granulometria .....	8
2.2.2. Massa específica .....	8
2.3. ARENITO E SUAS PROPRIEDADES .....	9
2.3.1. Propriedades do arenito no concreto .....	10
2.4. CONCRETO E SUAS PROPRIEDADES.....	10
2.4.1. Trabalhabilidade .....	11
2.4.2. Resistência à compressão .....	11
2.4.3. Módulo de elasticidade .....	13
2.4.4. Equações para determinação do módulo de elasticidade .....	15
2.4.5. Influência da origem mineralógica do agregado graúdo na resistência à compressão e módulo de elasticidade .....	16
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	17
3.1. MATERIAIS UTILIZADOS .....	17
3.1.1. Agregados miúdos e graúdos .....	18
3.1.2. Cimento Portland .....	18
3.2. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS .....	19
3.2.1. Ensaio de granulometria dos agregados miúdos e graúdos.....	19
3.2.2. Ensaio de massa específica dos agregados miúdos e graúdos .....	23
3.2.3. Ensaio de massa unitária compactada dos agregados graúdos.....	25
3.2.4. Ensaio de massa específica do cimento Portland .....	26
3.2.5. Ensaio de caracterização química do agregado graúdo arenítico .....	28
3.3. DOSAGEM DO CONCRETO .....	29
3.4. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO .....	34
3.4.1. Ensaio de abatimento do tronco de cone .....	34
3.4.2. Ensaio de determinação do módulo de elasticidade do concreto .....	35
3.4.3. Ensaio de resistência à compressão axial do concreto .....	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	37

4.1. RESULTADOS OBTIDOS .....	37
4.1.1. Resistência à compressão .....	37
4.1.2. Módulo de elasticidade .....	39
4.2. ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS DE MÓDULO DE ELASTICIDADE COM OS VALORES FORNECIDOS POR DIVERSAS NORMAS .....	40
4.2.1. Análise comparativa do módulo de elasticidade com a equação fornecida pela NBR 6118/2003 .....	40
4.2.2. Análise comparativa do módulo de elasticidade com a equação fornecida pela NBR 6118/2014 .....	41
4.2.3. Análise comparativa do módulo de elasticidade com a equação fornecida pela ACI 318/2011 .....	42
4.2.4. Análise comparativa do módulo de elasticidade com a equação fornecida pela EUROCODE 2/2004 .....	44
4.2.5. Análise das comparações gráficas de módulo de elasticidade .....	45
5. CONCLUSÕES .....	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	47



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação do módulo de elasticidade secante do concreto .....	13
Figura 2 - Representação módulo de elasticidade tangente inicial do concreto .....	15
Figura 3 - Agregado graúdo arenítico.....	18
Figura 4 - Série de peneiras .....	20
Figura 5 - A: Amostra de agregado miúdo; B: Peneiras para o agregado miúdo; C: Amostra de agregado graúdo e D: Peneiras de agregado graúdo .....	21
Figura 6 - Curva granulométrica areia.....	22
Figura 7 - Curva granulométrica brita 0 .....	22
Figura 8 - Curva granulométrica brita 1 .....	22
Figura 9 - Ensaio de massa específica realizado .....	23
Figura 10 – A e C: Verificação dos valores de massa do agregado saturado com superfície seca; B e D: Verificação dos valores de massa do agregado submersa ..	24
Figura 11 – Verificação da massa do recipiente com agregado graúdo.....	26
Figura 12 - Frasco de Le Chatelier.....	27
Figura 13 - Difratoograma do arenito utilizado para confecção dos corpos de prova..	28
Figura 14 – Difratoograma de material similar.....	29
Figura 15 - Curva Abrams .....	30
Figura 16 - Medida do abatimento.....	34
Figura 17 - Máquina utilizada para ensaio de módulo de elasticidade e resistência à compressão dos corpos de prova .....	35
Figura 18 - Resistência à compressão dos corpos de prova de brita 0.....	38
Figura 19 - Resistência à compressão dos corpos de prova de brita 1 .....	38
Figura 20 - Comparação dos resultados de brita 0 com NBR 6118/2003 .....	41
Figura 21 - Comparação dos resultados de brita 1 com NBR 6118/2003 .....	41
Figura 22 - Comparação dos resultados de brita 0 com NBR 6118/2014 .....	42
Figura 23 - Comparação dos resultados de brita 1 com NBR 6118/2014 .....	42
Figura 24 - Comparação dos resultados de brita 0 com ACI 318/2011 .....	43
Figura 25 - Comparação dos resultados de brita 1 com ACI 318/2011.....	43
Figura 26 -Comparação dos resultados de brita 0 com EUROCODE 2/2004 .....	44
Figura 27 - Comparação dos resultados de brita 1 com EUROCODE 2/2004 .....	44

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição dos arenitos mais comuns.....	9
Tabela 2 - Desvio Padrão da resistência à compressão do concreto.....	12
Tabela 3 - Equações determinadas pelas normas nacionais e internacionais para estimar o módulo de elasticidade .....	15
Tabela 4 - Quantitativo de corpos de prova .....	17
Tabela 5 - Módulo de finura e dimensão máxima característica dos agregados.....	21
Tabela 6 - Valores de massa específica dos agregados .....	25
Tabela 7 - Valores de massa unitária compactada dos agregados .....	26
Tabela 8 - Massa específica e resistência à compressão do cimento.....	27
Tabela 9 - Consumo de água aproximado (L/m <sup>3</sup> ).....	31
Tabela 10 - Volume do agregado graúdo seco por m <sup>3</sup> de concreto .....	32
Tabela 11 - traços obtidos para cada agregado .....	33
Tabela 12 - Traços modificados .....	33
Tabela 13 - Valores de resistência à compressão ensaiados .....	37
Tabela 14 - Resistência à compressão dos exemplares .....	38
Tabela 15 - Comparação das resistências das amostras com diferentes diâmetros.	39
Tabela 16 - Módulo de elasticidade para amostra de brita 0.....	39
Tabela 17 - Módulo de elasticidade para amostra de brita 1.....	40

## 1. INTRODUÇÃO

O concreto é o material mais utilizado, na construção civil, no Brasil. Isso se deve as vantagens em relação aos outros materiais (madeira e aço), como excelente resistência a água, sendo capaz de resistir a deterioração causada por essa, fazendo dele um material ideal para estruturas que tem como função estocar e controlar água (MEHTA e MONTEIRO, 2000).

Além desta vantagem, o uso do concreto se justifica por sua facilidade de execução, adaptação à maioria dos projetos arquitetônicos, bem como, seu custo menor em relação aos outros materiais (ALHADAS, 2008).

O concreto trata-se de um material composto que consiste em uma mistura de agregados, divididos por suas dimensões em miúdos e graúdos, água e aglomerante, normalmente utilizado o cimento, os quais, a partir da proporção e qualidade destes materiais, determinam as propriedades e a qualidade do concreto (MEHTA e MONTEIRO, 2000).

A preocupação mundial com questões ambientais e de desenvolvimento sustentável tem imposto sobre a indústria da construção civil limitações ao uso de materiais não renováveis, sendo o agregado um desses. Por este motivo é de extrema importância a busca por materiais alternativo que possam ser usados para fabricação do concreto (ALHADAS, 2008; RODOLPHO, 2008).

O arenito é uma rocha sedimentar que possui reservas distribuídas pelo Brasil. Suas propriedades variam de acordo com o tipo de consolidação e as proporções das partículas que constituem estas rochas, podendo. Mesmo assim, conforme comprovado por Oliveira et al. (2015), o concreto confeccionado com arenito pode apresentar valores de resistência à compressão e módulo de elasticidade satisfatórios para justificar seu uso.

### 1.1. JUSTIFICATIVA

Com a mudança da norma NBR 6118 – “Projeto de estruturas de concreto – Procedimento” (2014), a equação empírica para determinar o valor do módulo de elasticidade tangente inicial do concreto sofreu alteração, com o incremento do coeficiente “ $\alpha_e$ ”, o qual depende do tipo de rocha da qual o agregado graúdo, utilizado para confecção do concreto estrutural, é proveniente.

Por se tratar de uma propriedade importante para o cálculo estrutural, é necessário verificar se os valores de módulo de elasticidade fornecidos pela equação empírica são similares aos encontrados por ensaios.

## **1.2. OBJETIVOS**

Neste tópico serão apresentados os objetivos desta pesquisa, dividindo os mesmo em objetivo geral e específicos.

### **1.2.1. Objetivo geral**

Analisar a influência do agregado graúdo arenítico nas propriedades resistência à compressão e módulo de elasticidade do concreto com resistência característica à compressão ( $f_{ck}$ ) de 35 MPa, dosado a partir do método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP).

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Analisar a influência da dimensão do agregado graúdo arenítico na fabricação do concreto estrutural;
- Analisar a constituição química do agregado graúdo arenítico, a fim de determinar se o mesmo é potencialmente reativo;
- Avaliar e comparar os valores experimentais, determinados por meio de ensaios, do módulo de elasticidade, com os valores teóricos obtidos através das normas NBR 6118/2003, NBR 6118/2014, ACI 318 e EUROCODE 2/2004.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Neste trabalho serão abordados conceitos a respeito das propriedades dos agregados miúdos e graúdos, sendo analisada a influência da origem do agregado graúdo nas propriedades do concreto. Além disso, serão descritos os conceitos e principais propriedades do concreto no estado fresco e endurecido.

### **2.1. AGREGADO MIÚDO E GRAÚDO**

Os agregados são materiais granulares, os quais geralmente não apresentam atividade química, com forma e volume indefinido. Mesmo com seu custo baixo em relação ao restante dos materiais utilizados para confecção do concreto, deve-se atentar a sua qualidade, pois os agregados ocupam pelo menos três quartos do volume total do concreto (AMBROZEWICZ, 2012).

A classificação dos agregados segundo as dimensões das partículas define como agregado miúdo, aquele cujos grãos ficam retidos entre as peneiras 4,8 mm e 150  $\mu\text{m}$ . Já agregado graúdo é denominação dada para os materiais retidos entre as peneiras 75 mm e 4,8 mm (AMBROZEWICK, 2012; BAUER, 2008; ABNT, 2009).

Além desse método de classificação, os agregados ainda podem ser classificados quanto sua origem, naturais, quando encontrados em forma de partícula na natureza, ou artificiais, os quais são obtidos por processos industriais (BAUER, 2008). Por possuírem origens distintas é notório que as propriedades físicas serão diferentes para cada agregado.

### **2.2. PROPRIEDADES DOS AGREGADOS**

Considerando o volume ocupado pelos agregados, a seleção desses tem grande importância no desempenho do concreto, tendo em vista que suas propriedades irão impactar diretamente as propriedades do concreto (ALHADAS, 2008). Dentre as características pertencentes aos agregados, serão destacadas aquelas que possuem relevância na dosagem do concreto, a partir do método de dosagem da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP).

### **2.2.1. Granulometria**

Os agregados são formados por uma mistura de grãos de tamanhos e formatos distintos. Segundo Bauer (2008), a granulometria tem como objetivo ser um modo de caracterizar a distribuição do diâmetro dos grãos, expressa em função da massa total do agregado. O procedimento é realizado por meio do peneiramento do agregado, seguindo os modelos de peneira propostos pela ABNT (2003), possibilitando a caracterização do agregado como graúdo ou miúdo. De acordo com Rodolpho (2007), a distribuição granulométrica, assim como a concentração volumétrica de agregados, tem influência na fluidez do concreto fresco.

Por meio da distribuição granulométrica do agregado graúdo é possível determinar a dimensão máxima característica do agregado graúdo, a qual corresponde ao valor da abertura, em milímetros, da malha da peneira da série normal ou intermediária na qual a porcentagem retida acumulada seja igual ou imediatamente inferior a 5% (ABNT, 2009b). Este valor é necessário para determinar o consumo de água e o volume do agregado graúdo seco.

Já a distribuição granulométrica agregado miúdo é utilizada para determinar o módulo de finura, o qual é a soma das porcentagens retidas acumuladas nas peneiras da série normal, dividida por 100 (ABNT, 2009b). Assim como a dimensão máxima característica do agregado graúdo, seu valor é necessário para determinar o volume do agregado graúdo seco.

### **2.2.2. Massa específica**

Outra propriedade física dos agregados é a massa específica, a qual pode ser definida como a relação entre a massa do agregado pelo volume ocupado por esse quando está dentro de um recipiente, excluindo-se os vazios e poros permeáveis, também chamada de massa específica absoluta (BAUER, 2008). Quando o volume dos poros for incluído na relação deve-se ser chamada de massa específica aparente (ABNT,2009).

Segundo Mehta e Monteiro (2000), para fins de dosagem do concreto, é necessário conhecer o volume ocupado pelas partículas do agregado, incluindo os poros existentes. Portanto, é suficiente a determinação da massa específica aparente

tanto do agregado graúdo quanto do miúdo, os quais são utilizados para determinação do consumo de agregado miúdo.

### 2.3. ARENITO E SUAS PROPRIEDADES

O arenito é a nomenclatura dada a um dos tipos de rochas sedimentares, as quais, por sua vez, são formadas pela deposição e compactação dos sedimentos de outras rochas transportados, por água, gelo ou ainda por ação do vento. As propriedades das rochas sedimentares dependem das características da rocha-mãe, do seu processo de erosão e transporte, bem como, dos processos de deposição das partículas (SUGUIO, 2003).

De acordo com Suguio (2003), todas as rochas sedimentares, que possuem na sua composição fragmentos de minerais de areia, são arenitos. De modo geral, a composição mineralógica mais comum dos arenitos é a quartzosa. Para classificar os diferentes tipos de arenitos encontrados baseia-se como critério fundamental as proporções de quartzo, feldspato e partículas de outras rochas (fragmentos líticos) (PETTIJHON et al, 1972 apud SUGUIO, 2003).

As descrições das classificações mais comumente utilizadas podem ser observadas na Tabela 1.

**Tabela 1 - Descrição dos arenitos mais comuns**

<b>Classificação</b>	<b>Descrição</b>
Arenito Ortoquartzítico	Quartzo representa pelo menos 95% da composição
Arenito Arcoziano	Feldspato representa pelo menos 25% da composição
Arenito Lítico	Partículas líticas representam pelo menos 25% da composição
Grauvaques	Silte e argila representam 15% a 75% da composição

Fonte: Suguio (2003)

### 2.3.1. Propriedades do arenito no concreto

Conforme Mehta e Monteiro (2000), os agregados areníticos possuem qualidade satisfatória para uso na construção civil. Porém, por possuírem uma grande variação nas suas propriedades, devido as diferentes condições de consolidação, sua resistência terá uma grande amplitude, a qual deve ser analisada, a fim de se garantir o melhor uso do agregado.

Mesmo produzindo concretos que atendem os requisitos para uso na construção civil são encontrados poucos trabalhos relatando o uso de agregados areníticos para confecção de concreto estrutural, bem como, suas propriedades. Oliveira et al. (2015), em seu trabalho, verificou que o arenito utilizado se apresentou potencialmente reativo para reação Álcali/Agregado. Sendo assim, se faz necessário a verificação desta propriedade ao planejar utilizar este tipo de agregado.

A reação Álcali/Agregado é a reação química que ocorre no interior do concreto, entre os álcalis presentes no cimento e os minerais dos agregados (BONATO, 2015). No caso do agregado arenítico, esta reação pode ser nomeada reação Álcali/Silicato e sua ocorrência causa a desagregação do concreto armado, além de expansão e fissuração do mesmo (SANCHEZ, 2008).

## 2.4. CONCRETO E SUAS PROPRIEDADES

Segundo Bauer (2008), o concreto é constituído basicamente de agregados miúdos e graúdos, envoltos por uma pasta de cimento, a qual consiste em uma mistura de água e cimento. Conforme Ambrozewicz (2012), para garantir que o concreto obtido desta mistura apresente boas propriedades, dentre elas valores de resistência à compressão e módulo de elasticidade que atendam o requerido para execução do projeto estrutural, além de ser econômico deve-se estudar os seguintes fatores:

- Propriedades dos materiais constituintes;
- Propriedades do concreto e os fatores que podem alterá-las;
- Proporcionamento correto e execução cuidadosa da mistura;
- Controle do concreto durante a fabricação e após o endurecimento.



### **2.4.1. Trabalhabilidade**

Segundo Mehta e Monteiro (2000), a trabalhabilidade trata-se de uma propriedade do concreto no estado fresco, a qual determina a facilidade deste material ser manipulado. Esta propriedade representa diversas características do concreto, como, por exemplo, coesão e consistência, sendo a última, normalmente, avaliada a partir do ensaio do tronco de cone, o qual evidencia o abatimento da mistura (ABNT, 1998).

Como não é uma propriedade mensurável ou definível, pois coesão e consistência possuem interpretação subjetiva e sendo possível avalia-las visualmente, Mehta e Monteiro (2000) definem algumas considerações para facilitar as decisões relativas à trabalhabilidade:

- A fluidez não deve ser superior à necessária para o lançamento, adensamento e acabamento do concreto;
- A quantidade de água para uma dada consistência depende, principalmente, das características do agregado;
- Para concretos que requeiram elevada fluidez na concretagem, é preferível o uso de aditivos redutores de água e retardadores de pega, ao invés do lançamento de mais água ao concreto. Tendo em vista que a adição de água, não prevista na dosagem do concreto, mesmo aumentando a trabalhabilidade, resultará em redução no desempenho da resistência à compressão e módulo de elasticidade.

### **2.4.2. Resistência à compressão**

Uma das propriedades mais valorizadas do concreto, Mehta e Monteiro (2000) descrevem a resistência à compressão como a capacidade deste material resistir às tensões sem sofrer ruptura. Segundo os mesmos autores, a resistência é a propriedade geralmente especificada, tendo em vista que, comparada com as outras propriedades, é relativamente mais fácil de ser ensaiada, além de ser a propriedade mais solicitada do concreto quando usado em estruturas. Além disso, diversas propriedades podem ser relacionadas a resistência, como, por exemplo, o módulo de elasticidade.

Conforme evidenciado pela norma NBR 12655/2015, a resistência à compressão no concreto depende, entre outras variáveis, do procedimento de dosagem e do controle tecnológico empregado, ou seja, se os materiais são dosados a partir de sua massa ou volume.

Por conta disso, a norma determina três condições de preparo (A, B e C), as quais representam graus de confiabilidade da dosagem realizada, bem como, valores de desvio padrão da resistência. Na Tabela 2, é possível observar as condições de preparo e seus respectivos valores de desvio padrão.

**Tabela 2 - Desvio Padrão da resistência à compressão do concreto**

Condição de preparo do concreto	Descrição	Desvio Padrão (MPa)
A	Aplicável para todas as classes de concreto, todos os materiais dosados em massa e quantidade de água é corrigida em função da umidade dos agregados.	4,0
B	Aplicável apenas para as classes C10 e C20, cimento e agregados dosados em massa, enquanto que a água é medida em volume.	5,5
C	Aplicável para as classes C10 e C15, cimento dosado em massa, enquanto que os demais materiais são medidos em volume.	7,0

Fonte: Dados retirados de ABNT (2015)

Estes valores de desvio padrão são consequência da variabilidade encontrada nos resultados dos ensaios de resistência à compressão axial do concreto. Por conta desta variação nos resultados, na dosagem do concreto deve ser utilizada, para determinar a relação água/cimento, a resistência de dosagem à compressão ( $f_{cmj}$ ), a qual é determinada seguindo a equação 1, garantindo assim uma distribuição normal com 5% de possibilidade de serem observadas resistências inferior à resistência à compressão característica ( $f_{ckj}$ ), essa utilizada no cálculo estrutural (ABNT,2014, 2015).

$$f_{cmj} = f_{ckj} + 1,65 \times S_d \quad (1)$$

Onde:

$f_{cmj}$ : Resistência de dosagem do concreto à compressão, calculada para o dia  $j$  de idade (MPa);

$f_{ckj}$ : Resistência à compressão característica do concreto, calculada para o dia  $j$  de idade (MPa);

$S_d$ : Desvio padrão de acordo com a condição de preparo do concreto (MPa).

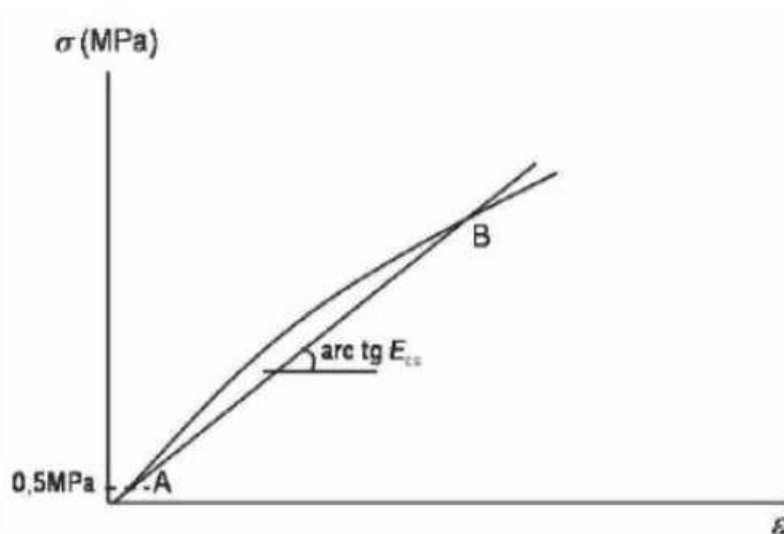
### 2.4.3. Módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade, também chamado de módulo de deformação, trata-se de uma relação entre a tensão e a deformação, quando essa não ultrapassa o limite do regime elástico, ou seja, quando suas deformações causadas pelo carregamento são reversíveis após descarregamento do elemento estrutural (ABNT, 2008; MEHTA e MONTEIRO, 2000). No cálculo estrutural, sua determinação é fundamental para o cálculo das deformações e deslocamentos, para garantir que a estrutura não entre em colapso (GALOBARDES et al., 2013; ALSALMAN et al., 2017).

De acordo com ABNT (2008, 2014), o módulo de elasticidade pode ser determinado empiricamente, por meio de equações, ou por ensaios laboratoriais. Além disso, esta propriedade possui dois tipos principais: Módulo de elasticidade secante ( $E_{cs}$ ) e módulo de elasticidade tangente inicial ( $E_{ci}$ ).

O primeiro módulo é o coeficiente angular encontrado entre a reta AB, a qual é secante do gráfico tensão-deformação, e o eixo das deformações específicas do concreto ( $\epsilon$ ), como pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 - Representação do módulo de elasticidade secante do concreto



Fonte: ABNT (2008)

De acordo com o descrito pela NBR 6118/2014, o módulo de elasticidade secante é utilizado para avaliar o comportamento de um elemento estrutural, quando esse ainda está trabalhando dentro do regime elástico. Além disso, quando é necessário realizar a verificação do estado limite de serviço (ELS), podendo ser calculado empiricamente através da equação 2, com auxílio da equação 3.

$$E_{cs} = \alpha_i \times E_{ci} \quad (2)$$

Onde:

$E_{cs}$ : Módulo de elasticidade secante (MPa);

$E_{ci}$ : Módulo de elasticidade tangente inicial (MPa);

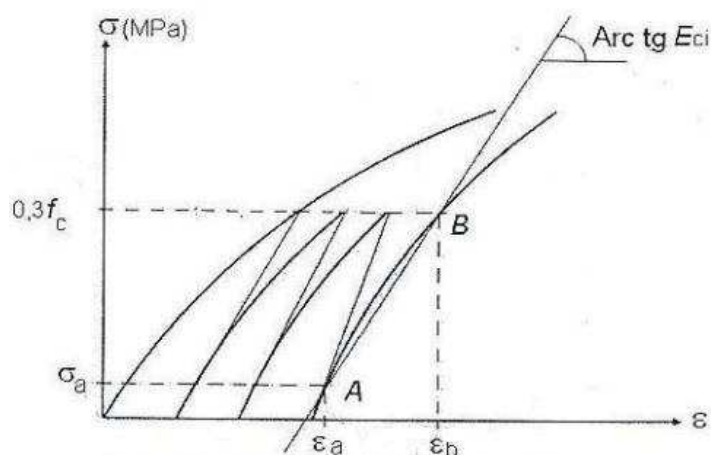
$\alpha_i$ : Coeficiente de minoração.

Sendo que:

$$\alpha_i = 0,8 + 0,2 \times \frac{f_{ck}}{80} \leq 1,0 \quad (3)$$

O módulo de elasticidade tangente inicial é considerado equivalente ao módulo de elasticidade secante, quando esse está cortando o gráfico tensão-deformação nas tensões  $\sigma_a$  e  $\sigma_b$ , sendo esta última 30% da resistência à compressão do concreto estudado, como pode ser verificado na Figura 2 (ABNT, 2008).

Figura 2 - Representação módulo de elasticidade tangente inicial do concreto



Fonte: ABNT (2008)

#### 2.4.4. Equações para determinação do módulo de elasticidade

Barbosa (2009) e Santos et al. (2017) evidenciam algumas das principais equações utilizadas para o cálculo do módulo de elasticidade, nacionalmente e internacionalmente, as quais podem ser observadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Equações determinadas pelas normas nacionais e internacionais para estimar o módulo de elasticidade

Norma	Equação	Observações
NBR 6118 (ABNT, 2003)	$E_{cs} = 0,85 \times 5600 \times \sqrt{f_{ck}}$	Para $f_{ck}$ entre 15MPa e 50 MPa
NBR 6118 (ABNT, 2014)	$E_{cs} = \alpha_i \times \alpha_e \times 5600 \times \sqrt{f_{ck}}$	Para $f_{ck}$ entre 15MPa e 50 MPa; $\alpha_e$ é função do agregado graúdo (entre 0,7 e 1,2)
ACI 318 (AMERICAN..., 2011)	$E_{cs} = 4700 \times \sqrt{f_c}$	$F_c$ é resistência a compressão do concreto aos 28 dias
EUROCODE 2 (EUROPEAN..., 2004)	$E_{cs} = 22000 \times \alpha_e \times \sqrt[3]{\frac{f_{cm}}{10}}$	$F_{cm}$ é resistência de dosagem; $\alpha_e$ é função do agregado (entre 0,7 e 1,2); $f_{cm} = f_{ck} + 8$ .

Fonte: Dados retirados de Barbosa (2009) e Santos et al. (2017)

Em sua maioria, as fórmulas apresentadas são do tipo  $\alpha f c^\beta$ , sendo comumente utilizado  $\beta$  igual a 1/2 ou 1/3 (ALHADAS, 2008). Torna-se visível a relação da

propriedade resistência à compressão, sendo em todas diretamente proporcional ao valor que será obtido de módulo de elasticidade.

Além disso, é notório que a influência do tipo de agregado graúdo utilizado passou a ser incorporada em diversas normas, demonstrando a importância do seu estudo.

#### **2.4.5. Influência da origem mineralógica do agregado graúdo na resistência à compressão e módulo de elasticidade**

No trabalho de Santos et al. (2017), foram realizados ensaios com concretos utilizando agregados graúdos basálticos e dolomíticos. Realizou-se a comparação dos valores de resistência à compressão e módulo de elasticidade dos concretos com diferentes idades. Foi possível observar um menor ganho de resistência pelos concretos produzidos com agregados dolomíticos, sendo justificado, segundo o autor, pelo fato da dolomita ser mais porosa que o basalto. Por outro lado, foi constatado que o módulo de elasticidade não teve variação significativa.

Já no trabalho de Alhadad (2008), os estudos com agregados calcários, basálticos, dolomíticos e gnáissico demonstram que a origem do material influenciou em ambas as propriedades.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

A fim de se obter os dados necessários para realização do estudo, foram confeccionadas duas amostras, cada uma contendo 12 corpos de prova, sendo que foram utilizados diâmetros de agregado graúdo arenítico diferentes para cada amostra. A escolha destas quantidades de corpos de prova se deve aos valores mínimos aceitáveis para cada ensaio, para análise da resistência à compressão axial foram utilizados os resultados dos 12 corpos de prova e para módulo de elasticidade do concreto, os resultados de 8 corpos de prova. Os diâmetros de agregado utilizados, bem como as quantidades de corpos de provas, podem ser observados na Tabela 4.

**Tabela 4 - Quantitativo de corpos de prova**

<b>Diâmetro máximo do agregado graúdo (mm)</b>	<b>Corpos de prova para ensaio de compressão axial (un)</b>	<b>Corpos de prova para ensaio de módulo de elasticidade (un)</b>
Brita 0	12	8
Brita 1	12	8

Fonte: Autor.

Todos os ensaios de caracterização dos materiais necessários para a dosagem do concreto, bem como a confecção dos corpos de prova, foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Toledo. A resistência a compressão característica ( $f_{ck}$ ) utilizada para a dosagem foi de 35 MPa e foram rompidos após 28 dias da sua confecção, no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Paranaense (Unipar) – Campus Toledo.

#### 3.1. MATERIAIS UTILIZADOS

Neste tópico serão abordados os materiais utilizados para confecção dos corpos de prova, sendo eles: agregados e cimento.

### 3.1.1. Agregados miúdos e graúdos

O agregado miúdo utilizado foi areia natural, proveniente do laboratório da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Toledo.

O agregado graúdo, o qual pode ser observado na Figura 3, foi adquirido por meio de compra, proveniente da pedreira de Jacarezinho, localizada ao norte do estado do Paraná. A empresa Inartec é a responsável pela extração, bem como pela venda, do material na região e utiliza o mesmo apenas com função de pedra decorativa.

**Figura 3 - Agregado graúdo arenítico**



Fonte: Autor.

Por conta disso, não havia informações sobre se este material seria potencialmente ativo para reação Álcali/Agregado ou sobre suas propriedades físicas, como massa específica ou granulometria. Sendo assim todos os ensaios pertinentes a essas propriedades tiveram que ser realizados.

### 3.1.2. Cimento Portland

Para realização deste trabalho foi optado pela utilização do cimento Portland CP IV, o qual possui resistência à compressão de 40 MPa quando transcorrido 28 dias. A utilização deste cimento deve-se ao fato do agregado arenítico ser possivelmente reativo e, como demonstrado no trabalho de Oliveira et al. (2015), a



característica pozolânica deste cimento é positiva no controle da reação Álcali/Agregado.

### **3.2. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS**

Para a confecção dos corpos de prova, seguindo o método de dosagem proposto pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), foi necessário realizar a caracterização de todos os materiais. Sendo assim, as propriedades físicas dos agregados graúdos e miúdos que foram caracterizadas são a dimensão máxima característica dos agregados graúdos, módulo de finura dos agregados miúdos, massa específica aparente e massa unitária, de acordo com suas respectivas normas vigentes, as quais são NBR 248/2003, NBR 9776/1987, NBR NM 53/2009 e NBR NM 45/2006. Além disso, foi realizado o ensaio para determinação da massa específica do cimento Portland, de acordo com a norma NBR NM 23/2001.

Por conta do agregado graúdo arenítico se tratar de um material potencialmente reativo, para Reação Álcali/Agregado, foi realizada a caracterização química do mesmo.

#### **3.2.1. Ensaio de granulometria dos agregados miúdos e graúdos**

O ensaio de granulometria é realizado para determinar a dimensão máxima característica (DMC) dos agregados graúdos, bem como, o módulo de finura dos agregados miúdos.

De acordo com ABNT (2003), os equipamentos necessários para realização do ensaio são balança de precisão, peneiras com malhas de série normal e intermediárias, pincel com cerdas macias e agitador mecânico.

As séries normal e intermediária de peneiras consistem em um conjunto de peneiras sucessivas, com aberturas conforme a Figura 4.

Figura 4 - Série de peneiras

Serie Normal / <i>Série Normal</i>	Serie Intermedia / <i>Série Intermediária</i>
75 mm	-
-	63 mm
-	50 mm
37,5 mm	-
--	31,5 mm
--	25 mm
19 mm	-
-	12,5 mm
9,5 mm	-
-	6,3 mm
4,75 mm	-
2,36 mm	-
1,18 mm	-
600 µm	-
300 µm	-
150 µm	-

Ativar o Win  
Acesse Configur

Fonte: ABNT (2003b)

Inicialmente, foi separada e pesada uma amostra de cada agregado (gráudo e miúdo), em dois recipientes, previamente tarados. De acordo com a norma NBR 248/2003b, a massa mínima da amostra dependerá da dimensão máxima nominal do agregado. Sendo assim, para atender a norma foram separadas três amostras, uma de areia com a massa de 300 g, duas de brita arenítica, a primeira com 5,519 Kg (brita 0) e a segunda com 5,187 Kg (brita 1).

Os agregados foram depositados em seus respectivos conjuntos de peneiras, sendo para o agregado miúdo utilizou-se o intervalo decrescente de peneiras entre 4,75 mm e 0,15 mm, enquanto para o agregado gráudo as peneiras utilizadas foram decrescentes dentro do intervalo de 25 mm até 4,75mm.

Após a deposição dos agregados, é realizada a agitação, com auxílio do agitador mecânico, para distribuição dos grãos entre as malhas de peneiras. Em seguida é realizada a verificação da massa retida em cada peneira e são calculados os valores de porcentagem retida e porcentagem retida acumulada para cada agregado.

Na Figura 5 podem ser observadas as amostras de areia e brita 1, bem como seus respectivos conjuntos de peneiras.

**Figura 5 - A: Amostra de agregado miúdo; B: Peneiras para o agregado miúdo; C: Amostra de agregado graúdo e D: Peneiras de agregado graúdo**



Fonte: Autor.

A dimensão máxima característica do agregado graúdo foi dada pela abertura da malha da peneira que tem porcentagem retida acumulada imediatamente inferior ou igual a 5%. Já o módulo de finura do agregado miúdo é a soma das porcentagens retidas acumuladas, apenas nas peneiras da série normal, dividida por 100 (ABNT,2003b). Estes valores foram calculados e dispostos na Tabela 5.

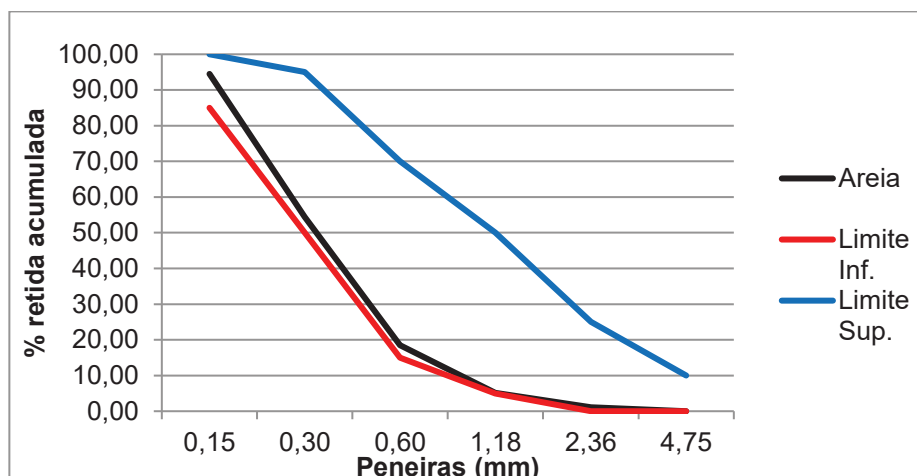
**Tabela 5 - Módulo de finura e dimensão máxima característica dos agregados**

<b>Agregado</b>	<b>Módulo de Finura</b>	<b>DMC</b>
Areia	1,80	-
Brita 0	-	9,50
Brita 1	-	19,00

Fonte: Autor.

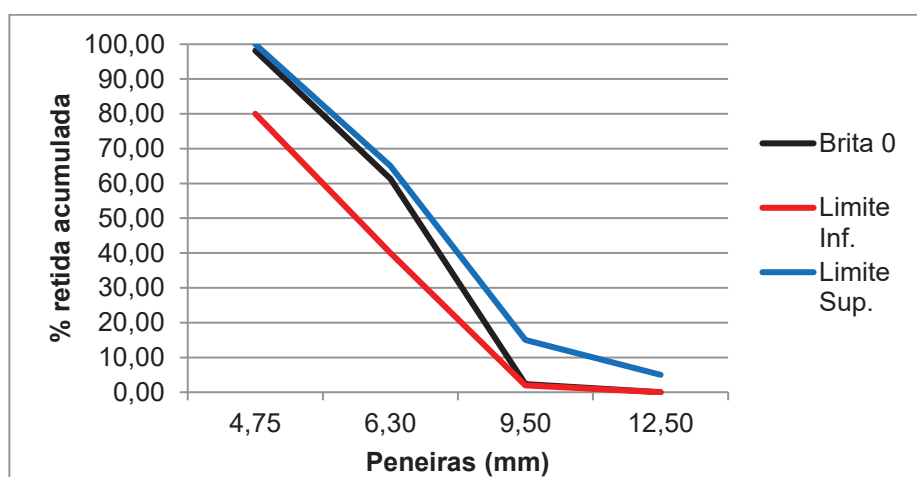
Além disso, foi determinada a curva granulométrica de cada agregado. As quais podem ser observadas nas Figuras 6,7 e 8, para verificar se as porcentagens retidas acumuladas em cada peneira estão dentro dos limites determinados pela NBR 7211/2009, a qual define se a distribuição granulométrica do agregado está de acordo para esse ser utilizado na confecção de concreto.

Figura 6 - Curva granulométrica areia



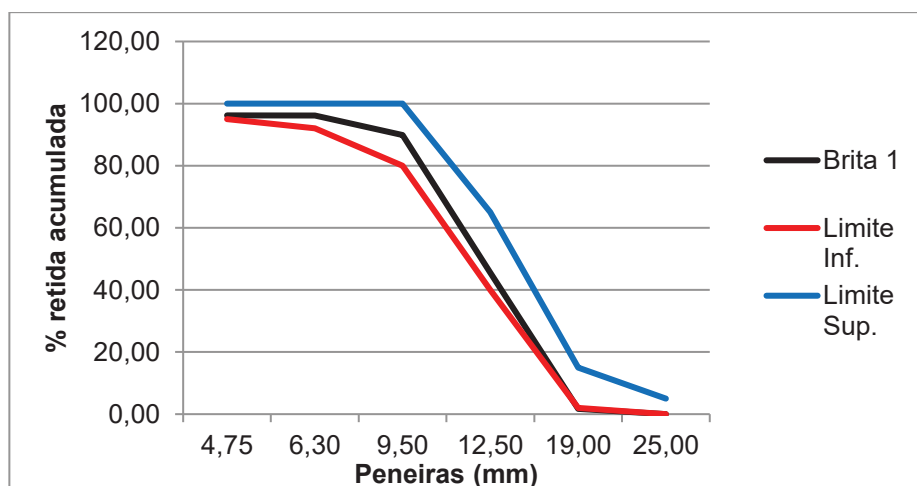
Fonte: Autor.

Figura 7 - Curva granulométrica brita 0



Fonte: Autor.

Figura 8 - Curva granulométrica brita 1



Fonte: Autor.

Através dos resultados de DMC e modulo de finura, juntamente com os gráficos de distribuição granulométrica, foi possível afirmar que o material utilizado está em conformidade com as normas vigentes, assim garantindo que sua utilização para confecção de concreto não necessita de nenhuma alteração no cálculo.

### 3.2.2. Ensaio de massa específica dos agregados miúdos e graúdos

Conforme descrito pela ABNT (1987), para determinar a massa específica aparente dos agregados miúdos foi necessário utilizar o frasco de Chapman. Inicialmente, foi colocado 200 cm<sup>3</sup> de água dentro do frasco de Chapman. Em seguida, foi adicionado 500 g do agregado miúdo, o qual foi seco em estufa anteriormente, e agitou-se o frasco para eliminar as bolhas de ar presentes no meio do material. Por fim, foi realizada a leitura da altura de água com agregado e aplicou-se o valor verificado na equação 4, a qual é evidenciada na norma NBR 9776/1987.

$$\gamma = \frac{500}{L - 200} \quad (4)$$

Onde:

$\gamma$ : Massa específica do agregado miúdo (g/cm<sup>3</sup>);

L: Leitura da altura de água com agregado (cm<sup>3</sup>).

Na Figura 9 é possível observar o Frasco de Chapman no momento da leitura da altura da água.

**Figura 9 - Ensaio de massa específica realizado**



Fonte: Autor.

O ensaio para determinar a massa específica do agregado graúdo seguiu as instruções da ABNT (2009a). Para este procedimento, foram necessários os seguintes equipamentos: Balança de precisão, recipiente, estufa e recipiente com água. Inicialmente, a amostra de agregado graúdo foi deixada imersa por  $24 \pm 4$  horas em um recipiente com água, para alcançar a saturação de seus poros. Após esta etapa, a amostra foi retirada deste recipiente e enxugada, para retirar o excesso de umidade superficial. Em seguida, a massa deste material foi aferida, com o auxílio de uma balança de precisão e uma balança hidrostática, para obter os valores de massa com superfície seca e massa submersa, respectivamente. Por fim, a amostra foi armazenada em estufa para secagem, em temperatura de  $105 \pm 5$  °C, durante 24 horas, para ser possível aferir sua massa seca.

A determinação da massa com superfície seca e da submersa, tanto da brita 0 quanto da brita 1, podem ser observadas na Figura 10.

**Figura 10 – A e C: Verificação dos valores de massa do agregado saturado com superfície seca; B e D: Verificação dos valores de massa do agregado submersa**



Fonte: Autor.

De acordo com ABNT (2009a), a massa específica do material analisado é determinada a partir da equação 5.

$$d_a = \frac{m}{m_s - m_a} \quad (5)$$

Onde:

$d_a$ : Massa específica aparente do agregado graúdo ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$m$ : Massa do agregado graúdo seco (g);

$m_s$ : Massa do agregado graúdo saturado com a superfície seca (g);

$m_a$ : Massa do agregado graúdo saturado submerso (g);

Sendo assim, os valores para massa específica do agregado miúdo e massa específica aparente dos agregados graúdos podem ser observados na Tabela 6.

**TABELA 6 - VALORES DE MASSA ESPECÍFICA DOS AGREGADOS**

<b>Agregado</b>	<b>Massa específica (g/cm<sup>3</sup>)</b>
Areia	2,64
Brita 0	2,44
Brita 1	2,39

Fonte: Autor.

Foi observado que o valor de massa específica do agregado graúdo foi inferior ao apresentado pelo agregado miúdo. Este fato ocorreu devido ao arenito ter sua composição de minerais de areia, além de possuir uma maior porosidade que o agregado miúdo.

### **3.2.3. Ensaio de massa unitária compactada dos agregados graúdos**

A massa unitária consiste em uma relação entre a massa do agregado e o volume do recipiente, no qual o mesmo é lançado (ABNT, 2006). Para realização deste ensaio, são necessários os seguintes equipamentos: Balança de precisão, haste metálica para adensamento do material, recipiente cilíndrico e estufa.

De acordo com a norma NBR NM 45/2006, inicialmente, foi determinada a massa do recipiente vazio. Em seguida, efetuou-se o preenchimento de 1/3 do recipiente com agregado e, então, foram aplicados 25 golpes verticais na camada de agregado, utilizando a haste metálica. Este passo foi repetido mais duas vezes para preencher o recipiente. Por fim, foi determinada a massa do recipiente com agregado, como é demonstrado na Figura 11, e realizado o cálculo da massa unitária, conforme a equação 6.

**Figura 11 – Verificação da massa do recipiente com agregado graúdo**



Fonte: Autor.

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V} \quad (6)$$

Onde:

$\rho$ : Massa unitária do agregado (Kg/cm<sup>3</sup>);

$m_{ar}$ : Massa do recipiente mais o agregado (Kg);

$m_r$ : Massa do recipiente (Kg);

$V$ : Volume do recipiente (cm<sup>3</sup>).

Por fim, os valores de massa unitária compactada dos agregados graúdos foram dispostos na Tabela 7.

**Tabela 7 - Valores de massa unitária compactada dos agregados**

<b>Agregado</b>	<b>Massa Unitária (Kg/m<sup>3</sup>)</b>
Brita 0	957,77
Brita 1	1002,42

Fonte: Autor.

### **3.2.4. Ensaio de massa específica do cimento Portland**

O procedimento para determinar a massa específica do cimento utiliza o frasco de Le Chatelier, o qual pode ser observado na Figura 12, conforme descrito na ABNT (2001). Inicialmente, o frasco foi preenchido, até a marcação entre 0 e 1 cm<sup>3</sup>, com querosene. Após estabilização do líquido foi determinado o volume inicial ( $v_1$ ). Em



seguida, foi adicionado o cimento, previamente pesado 60,5 g, e feito a leitura do volume final ( $v_2$ ). Para determinar a massa específica do cimento utilizou-se a equação 7.

$$\rho = \frac{m}{v_2 - v_1} \quad (7)$$

Onde:

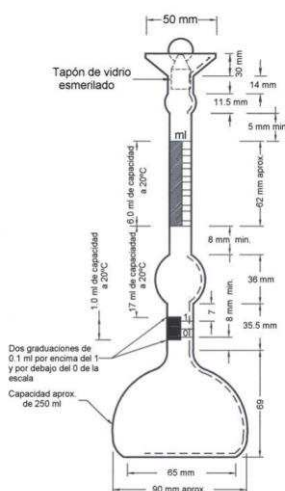
$\rho$ : Massa específica do cimento ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$m$ : Massa do cimento (g);

$v_1$ : Volume inicial ( $\text{cm}^3$ );

$v_2$ : Volume final ( $\text{cm}^3$ ).

**Figura 12 - Frasco de Le Chatelier**



Fonte: ABNT (2001)

A resistência à compressão do cimento após 28 dias é informada pela empresa Itambé e seu valor, bem como o valor da massa específica do cimento, estão disponíveis na Tabela 8.

**Tabela 8 - Massa específica e resistência à compressão do cimento**

Aglomerante	Massa Específica ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	Resistência à compressão (MPa)
Cimento CP IV-32 RS	2,79	44,00

Fonte: Autor.

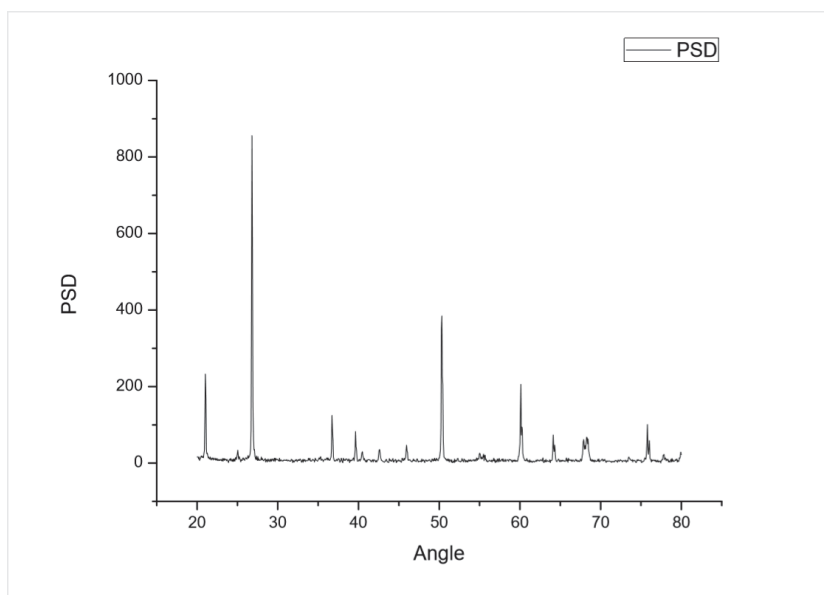
### 3.2.5. Ensaio de caracterização química do agregado graúdo arenítico

A fim de verificar se o agregado arenítico é reativo para reação Álcali/Agregado optou-se por determinar quais os constituintes químicos do mesmo. Para isso, foi necessário realizar o ensaio de Difração de Raio-X, no Laboratório da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Toledo.

A Difração de Raio-X é utilizada para determinar os elementos de um mineral analisando a posição angular dos picos de difração, juntamente com a intensidade dos mesmos. A posição angular está relacionada aos elementos constituintes, já a intensidade tem relação com a quantidade dos elementos na amostra (SCHMAL, 2011).

Após a realização do ensaio obteve-se o gráfico posição angular por intensidade (PSD ou CPS), que pode ser observado na Figura 13.

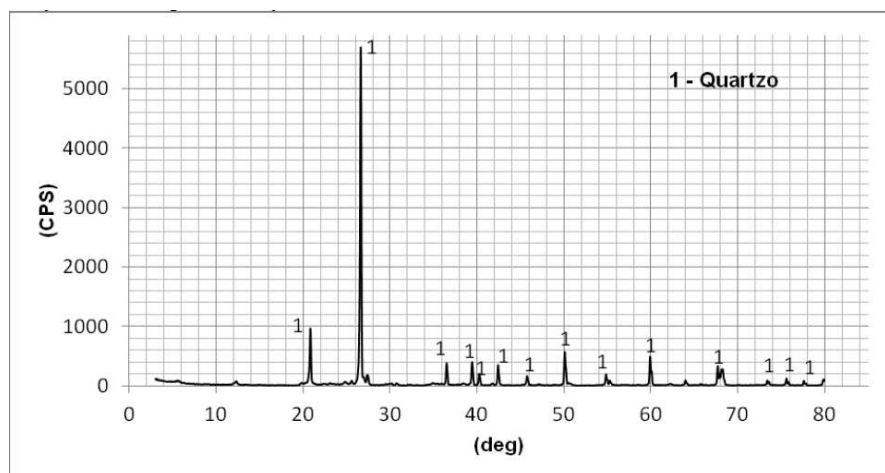
**Figura 13 - Difratoograma do arenito utilizado para confecção dos corpos de prova**



Fonte: Autor.

Para determinar quais elementos estariam relacionados a esses picos utilizaram-se para comparação as bases de estruturas cristalinas fornecidas pela CAPES (2013). Além disso, foi possível realizar a comparação gráfica com o trabalho realizado por Colares e Arns (2015), no qual também se analisou a composição de um arenito. Como é possível observar na Figura 14, a posição angular dos picos são as mesmas, sendo assim os arenitos estudados são similares.

Figura 14 – Difratoograma de material similar



Fonte: Colares e Arns (2015).

Tendo em vista as informações disponíveis e que as diferenças entre os gráficos está apenas na intensidade dos elementos, confirma-se apenas a presença de quartzo no arenito utilizado para o presente trabalho. Como verificado por Oliveira et al. (2015) a presença de quartzo (sílica) determina que o agregado é potencialmente reativo para reação Álcali/Agregado.

### 3.3. DOSAGEM DO CONCRETO

Após a seleção dos materiais componentes e definição das propriedades desses, o próximo passo é a dosagem do concreto. Esse procedimento consiste em obter a proporção ideal entre os componentes, tendo em vista que esta proporção tem grande influência no custo e nas propriedades do concreto (MEHTA e MONTEIRO, 2000).

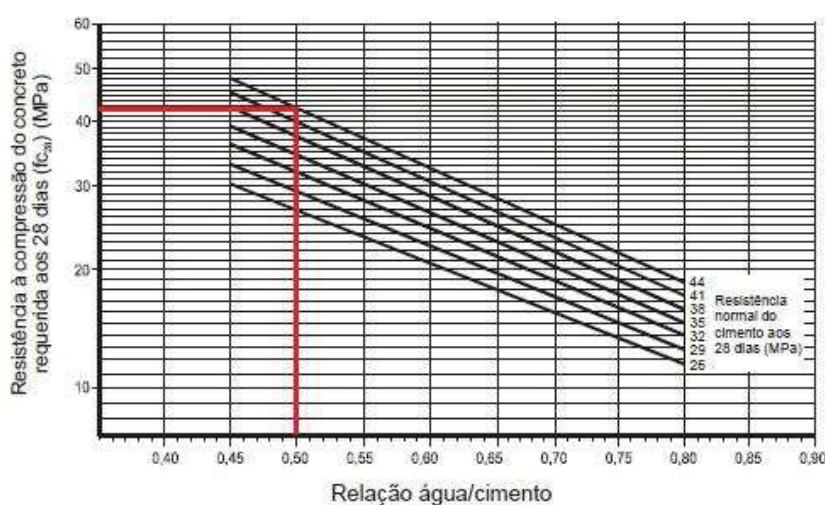
Ainda segundo os mesmos autores, existem dois grandes propósitos dentro da dosagem do concreto, o primeiro é obter um produto que atenda aos requisitos mínimos estabelecidos pelo projeto estrutural, dentro destes requisitos pode-se evidenciar a trabalhabilidade do concreto no estado fresco e a resistência do concreto endurecido. Já o segundo objetivo é que a combinação seja a mais econômica possível.

Para alcançar tais metas, a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) adaptou o método de dosagem de concreto da *American Concrete Institute*<sup>1</sup> (ACI), fornecendo uma primeira aproximação da quantidade de materiais (AMBROZEWICZ, 2012).

Primeiramente, deve-se determinar as características dos materiais que serão utilizados para confecção do concreto. O valor de resistência à compressão aos 28 dias do cimento, bem como a tipologia do cimento, será indicado pelo fabricante do mesmo. Para os agregados são realizados os ensaios de análise granulométrica, no qual é determinado o módulo de finura do agregado miúdo e a dimensão máxima do agregado graúdo. Além disso, também são obtidos os valores de massa específica dos agregados, realizando seus respectivos ensaios. Já para o concreto são definidas a consistência desejada no estado fresco e a resistência à compressão a ser obtida na dosagem (AMBROZEWICZ, 2012).

Tendo obtido as características dos materiais utilizados, aplicou-se os valores de resistência à compressão de dosagem ( $f_{cm}$ ) e resistência à compressão do cimento, ambos aos 28 dias, na curva Abrams (Figura 15), para determinar o valor da relação água/cimento (a/c). Para isso, o valor de resistência à compressão de dosagem foi aplicado no eixo y do gráfico, seguindo este valor até a reta que possui o valor de resistência à compressão do cimento de 44 Mpa. Tendo feito isso, observou-se o valor da relação água/cimento no eixo x.

Figura 15 - Curva Abrams



Fonte: ABCP (2016).

<sup>1</sup> Tradução mais provável: Instituto Americano do Concreto

O consumo de água (Ca) é o primeiro consumo a ser determinado. Para isso, relacionou-se os valores de abatimento do concreto fresco juntamente com a dimensão máxima do agregado graúdo. Esta relação é evidenciada através da Tabela 9. O valor escolhido para o abatimento está relacionado com a trabalhabilidade que se busca para o concreto no estado fresco. Para este trabalho optou-se para usar um valor de abatimento entre 80 e 100mm, para facilitar a moldagem dos corpos de prova.

**Tabela 9 - Consumo de água aproximado (L/m³)**

Abatimento (mm)	Dmáx. Agregado graúdo (mm)				
	9,5	19	25	32	38
40 a 60	220	195	190	185	180
60 a 80	225	200	195	190	185
80 a 100	230	205	200	195	190

Fonte: Ambrozewicz (2012)

O consumo de cimento (C) foi determinado a partir de uma relação do consumo de água com o fator a/c, podendo ser estabelecida a equação 8.

$$C = \frac{Ca}{a/c} \quad (8)$$

Onde:

C: Consumo de cimento (Kg/m³);

Ca: Consumo de água (L/m³);

a/c: Fator água/cimento.

Para determinar o consumo de agregado graúdo (Cb) foi utilizada a equação 9, na qual multiplica-se o volume, por metro cubico, do agregado seco pela massa unitária compactada do mesmo. Os volumes do agregado graúdo são expressos na Tabela 10, sendo uma relação do módulo de finura do agregado miúdo e da dimensão máxima do agregado graúdo.

Tabela 10 - Volume do agregado graúdo seco por m<sup>3</sup> de concreto

Modulo de finura	Dimensão máxima (mm)				
	9,5	19	25	32	38
1,80	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845
2,00	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825
2,20	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805
2,40	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785
2,60	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765
2,80	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745
3,00	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725
3,20	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705
3,40	0,485	0,610	0,635	0,660	0,685
3,60	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665

Fonte: Ambrozewicz (2012)

$$Cb = Vc \times Mc \quad (9)$$

Onde:

Cb: Consumo de agregado graúdo (Kg/m<sup>3</sup>);

Vc: Volume do agregado seco (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>);

Mc: Massa unitária compactada do agregado graúdo (Kg/m<sup>3</sup>).

O consumo do agregado miúdo foi determinado pela equação 10, a qual relaciona os consumos dos outros materiais com a massa específica dos mesmos.

$$Cm = \left[ 1 - \left( \frac{C}{\rho c} + \frac{Ca}{\rho w} + \frac{Cb}{\rho b} \right) \right] \times \rho m \quad (10)$$

Onde:

Cm: Consumo de agregado miúdo (Kg/m<sup>3</sup>);

C: Consumo de cimento (Kg/m<sup>3</sup>);

Ca: Consumo de água (L/m<sup>3</sup>);

Cb: Consumo de agregado graúdo (Kg/m<sup>3</sup>);

ρm: Massa específica do agregado miúdo (Kg/m<sup>3</sup>);

ρc: Massa específica do cimento (Kg/m<sup>3</sup>);

ρw: Massa específica de água (Kg/m<sup>3</sup>);

pb: Massa específica aparente do agregado graúdo (Kg/m<sup>3</sup>).

Por fim, o traço foi obtido pela divisão dos consumos pelo consumo de cimento e a apresentação do traço segue a ordem: Cimento, areia, brita, a/c, conforme é mostrado na equação 11.

$$\frac{C}{C} : \frac{C_m}{C} : \frac{C_b}{C} : \frac{C_a}{C} \quad (11)$$

Onde:

C: Consumo de cimento (Kg/m<sup>3</sup>);

C<sub>m</sub>: Consumo de agregado miúdo (Kg/m<sup>3</sup>);

C<sub>b</sub>: Consumo de agregado graúdo (Kg/m<sup>3</sup>);

C<sub>a</sub>: Consumo de água (L/m<sup>3</sup>).

Os traços obtidos após os cálculos podem ser observados na Tabela 11.

**Tabela 11 - traços obtidos para cada agregado**

<b>Agregado Graúdo</b>	<b>Traço</b>
Arenito Brita 0	1,00 : 2,02 : 1,34 : 0,5
Arenito Brita 1	1,00 : 2,09 : 1,88 : 0,5

Fonte: Autor.

Porém, ao utilizar estes traços observou-se que o concreto obtido era muito seco e com abatimento de 0mm, tornando o mesmo inviável para realizar a concretagem dos corpos de prova. Por conta disso, inicialmente, optou-se por modificar o traço adicionando mais 10% de argamassa (cimento, agregado miúdo e água) e mais 10% de água, mas mesmo assim a trabalhabilidade do concreto não melhorou o suficiente para sua utilização. Por fim optou-se pela utilização de 1% de aditivo superplastificante, o qual garantiu a trabalhabilidade necessária para utilização do concreto. Sendo assim, os novos traços, considerando as adições, podem ser observados na Tabela 12.

**Tabela 12 - Traços modificados**

<b>Agregado Graúdo</b>	<b>Traço</b>
Arenito Brita 0	1,00 : 2,02 : 1,22 : 0,55 : 0,01
Arenito Brita 1	1,00 : 2,09 : 1,71 : 0,55 : 0,01

Fonte: Autor.

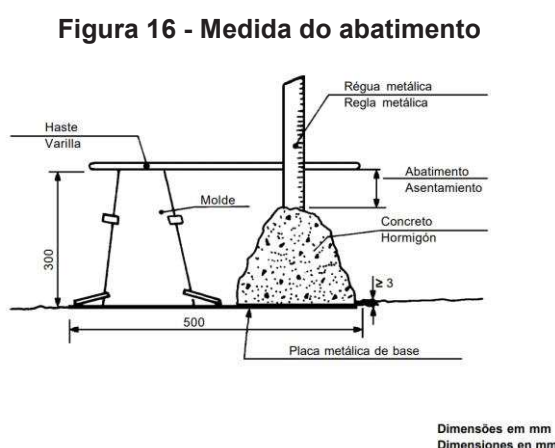
### 3.4. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO

Para caracterizar o concreto foram seguidas as seguintes normativas: NBR 67/1998, a qual é utilizada para determinação da consistência do concreto fresco pelo ensaio de abatimento do tronco de cone, NBR 8522/2008, para realização do módulo de elasticidade à compressão do concreto, e NBR 5739/2007, para análise da resistência à compressão axial do concreto.

#### 3.4.1. Ensaio de abatimento do tronco de cone

Inicialmente, foi umedecido o molde e colocado sobre a placa base, a qual foi utilizada para garantir que o molde não estivesse em cima de uma superfície irregular. Em seguida, preencheu-se 1/3 da altura do molde tronco de cone e realiza-se a compactação da amostra com 25 golpes da haste metálica. Este processo foi repetido mais duas vezes, assim, preenchendo o molde (ABNT, 1998).

Após esta etapa, retirou-se o tronco de cone verticalmente e aferiu-se o abatimento do concreto, utilizando uma régua graduada, conforme a Figura 16. Sendo assim, o valor do abatimento é a diferença entre a altura do tronco de cone e a altura do eixo central da amostra de concreto ensaiada.



Fonte: ABNT (1998)

A medida do abatimento foi realizada em ambas as concretagens e seu valor foi de 80mm em ambos os casos.



### 3.4.2. Ensaio de determinação do módulo de elasticidade do concreto

Os ensaios para determinação do módulo de elasticidade e resistência à compressão axial do concreto foram realizados no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Paranaense (Unipar) – Toledo. Para tal, foi necessário adaptar a metodologia para determinação do módulo de elasticidade, por conta da máquina utilizada na Unipar, a qual pode ser observada na Figura 17, não conseguir reproduzir o ensaio conforme a norma NBR 8522/2008.

**Figura 17 - Máquina utilizada para ensaio de módulo de elasticidade e resistência à compressão dos corpos de prova**



Fonte: Autor.

Desta forma o ensaio foi realizado aplicando-se cargas até a ruptura dos corpos de prova, sendo gerado um arquivo, no qual estão descritos os valores de tensões aplicadas e a variação da altura do corpo de prova, em função do tempo. Sendo assim, foi possível determinar a deformação para cada tempo utilizando a equação 12 e, conseqüentemente, relacionar os valores de deformação e tensão graficamente.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (12)$$

Onde:

$\varepsilon$ : Deformação específica;

$\Delta L$ : Variação da altura do corpo de prova (mm);

L: Altura do corpo de prova (mm).

O módulo de elasticidade tangente inicial foi obtido segundo a equação 13, descrita pela ABNT (2008), e comparado com o valor obtido pelas equações empíricas das normas nacionais e internacionais.

$$E_{cs} = \frac{\sigma_b - \sigma_a}{\varepsilon_b - \varepsilon_a} \times 10^{-3} \quad (13)$$

Onde:

$E_{cs}$ : Módulo de elasticidade do concreto (GPa);

$\sigma_b$ : Maior tensão aplicada no ensaio (MPa);

$\sigma_a$ : Tensão básica aplicada, normalizada em 0,5 (MPa);

$\varepsilon_b$ : Deformação específica média dos corpos de prova para a maior tensão;

$\varepsilon_a$ : Deformação específica média dos corpos de prova para a tensão básica.

### 3.4.3. Ensaio de resistência à compressão axial do concreto

Foram realizados os ensaios conforme a norma NBR 5739/2007. Para isso, os corpos de prova foram ensaiados no mesmo equipamento que foi utilizado para o módulo de elasticidade, aplicando-se cargas de compressão, até a ruptura dos mesmos. Após essa etapa, foi realizada a determinação da resistência à compressão por meio da equação 14.

$$f_c = \frac{4 \times F}{\pi \times d^2} \quad (14)$$

Onde:

$f_c$ : Resistência à compressão axial do concreto (MPa);

F: Força axial aplicada no corpo de prova (N);

d: Diâmetro da base do corpo de prova (mm).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico são apresentados os resultados, bem como as análises, dos ensaios de compressão axial e módulo de elasticidade do concreto com a utilização do agregado graúdo arenítico. Em seguida é feito um estudo comparativo entre os resultados obtidos dos concretos com agregados de diferentes diâmetros. Por fim, é feita a análise comparativa dos resultados obtidos para o módulo de elasticidade em relação a algumas normas nacionais e internacionais (NBR 6118/2003, NBR 6118/2014, ACI 318/2011 e EUROCODE 2/2004).

### 4.1. RESULTADOS OBTIDOS

#### 4.1.1. Resistência à compressão

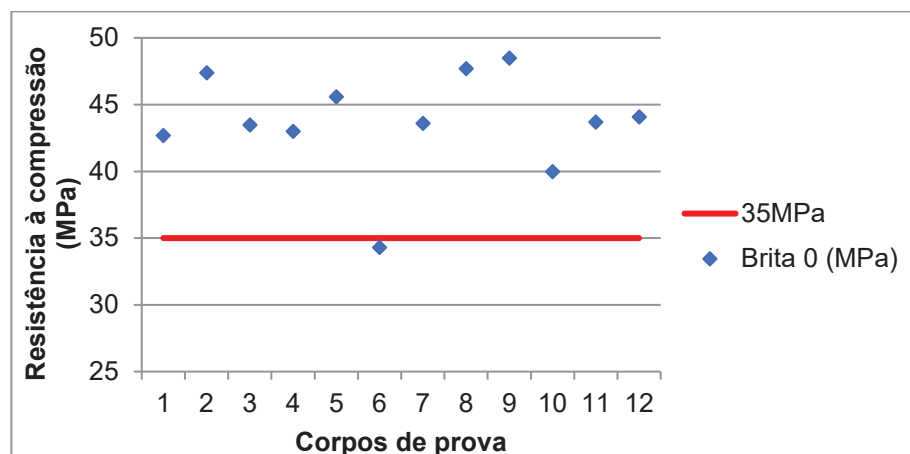
A Tabela 13 apresenta os resultados para os ensaios de resistência à compressão para ambos os diâmetros de agregado graúdo, os quais são comparados, nas Figuras 18 e 19, com a resistência característica à compressão de dosagem, a qual tem valor de 35 MPa.

**Tabela 13 - Valores de resistência à compressão ensaiados**

<b>N</b>	<b>B0 (MPa)</b>	<b>B1 (MPa)</b>
1	42.70	40.00
2	47.40	39.60
3	43.50	37.30
4	43.00	39.90
5	45.60	42.70
6	34.30	39.90
7	43.60	38.10
8	47.70	43.40
9	48.50	40.30
10	40.00	40.50
11	43.70	41.80
12	44.10	41.10

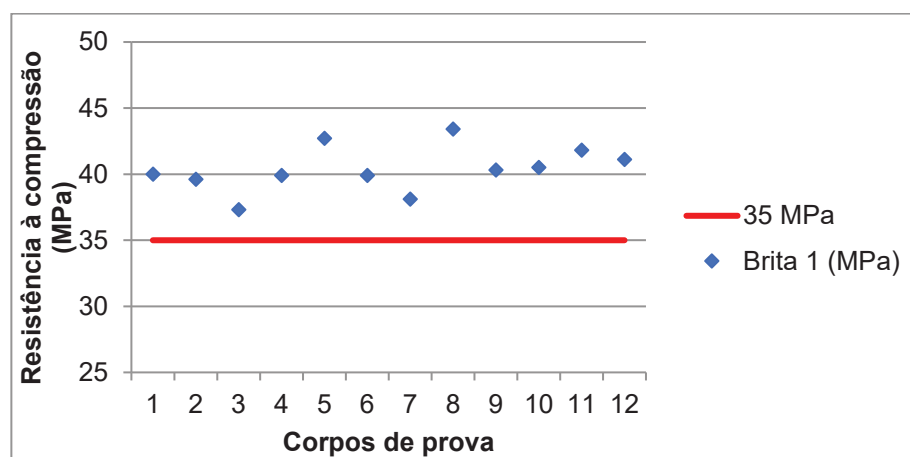
Fonte: Autor.

Figura 18 - Resistência à compressão dos corpos de prova de brita 0



Fonte: Autor.

Figura 19 - Resistência à compressão dos corpos de prova de brita 1



Fonte: Autor.

Utilizando a equação  $f_{ck,est} = \psi_6 \times f_1$ , fornecida pela norma NBR 12655/2015, foi possível realizar o tratamento estatístico dos valores de resistência obtidos em ensaio. Onde o valor de  $f_1$  é definido como o menor valor de resistência à compressão entre os exemplares, os quais podem ser observados na Tabela 14.

Tabela 14 - Resistência à compressão dos exemplares

fn	B0 (MPa)	B1 (MPa)
1	43.50	39.90
2	44.10	40.00
3	45.60	40.50
4	47.40	41.80
5	47.70	42.70
6	48.50	43.40

Fonte: Autor.

Após serem efetuados os cálculos, foi possível observar que para os dois diâmetros a resistência à compressão característica de dosagem de 35 MPa foi atendida, como pode ser visualizado na Tabela 15.

**Tabela 15 - Comparação das resistências das amostras com diferentes diâmetros**

<b>Agregado</b>	<b>Fck,est amostra (MPa)</b>
Brita 0	38,72
Brita 1	35,51

Fonte: Autor.

Com base nos resultados de resistência à compressão obtidos, pode-se afirmar que a origem mineralógica não foi um fator limitante para o alcance da resistência característica de dosagem, corroborando com o relatado por Bauer (2008).

Além disso, esta análise ainda revelou que o agregado arenítico do tipo brita 0 obteve valor de resistência característica estimada superior à obtida pelo tipo brita 1, porém apresentou uma maior amplitude entre os maiores e os menores valores. Enquanto isso, os valores, para o tipo brita 1, foram mais uniformes com uma amplitude consideravelmente menor.

#### **4.1.2. Módulo de elasticidade**

Nas Tabela 16 e 17 estão apresentados os resultados para os ensaios de módulo de elasticidade.

**Tabela 16 - Módulo de elasticidade para amostra de brita 0**

<b>N</b>	<b>Fc (MPa)</b>	<b>Ecs (MPa)</b>
1	42.70	11927.74
2	47.40	13771.43
3	43.50	12693.33
4	43.00	12456.67
5	45.60	13511.11
6	34.30	5823.65
7	43.60	12880.95
8	47.70	14096.55

Fonte: Autor.

Tabela 17 - Módulo de elasticidade para amostra de brita 1

N	Fc (MPa)	Ecs (MPa)
1	40.00	10523.13
2	39.60	9730.21
3	42.70	12689.00
4	43.40	13124.44
5	40.30	10730.43
6	40.50	11178.10
7	41.80	12170.55
8	41.10	11795.10

Fonte: Autor.

Pode-se observar que os valores estão proporcionalmente coerentes entre si (valores de resistência à compressão maiores associados a valores de módulo de elasticidade maiores). Além disso, analisou-se que o agregado arenítico do tipo brita 1 possui valores maiores de módulo de elasticidade quando comparado com valores próximos de resistência à compressão.

#### 4.2. ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS DE MÓDULO DE ELASTICIDADE COM OS VALORES FORNECIDOS POR DIVERSAS NORMAS

Neste tópico foram desenvolvidas as comparações dos valores obtidos em ensaios com os valores resultante das equações das normas NBR 6118/2003, NBR 6118/2014, ACI 318/2011 e EUROCODE 2/2004.

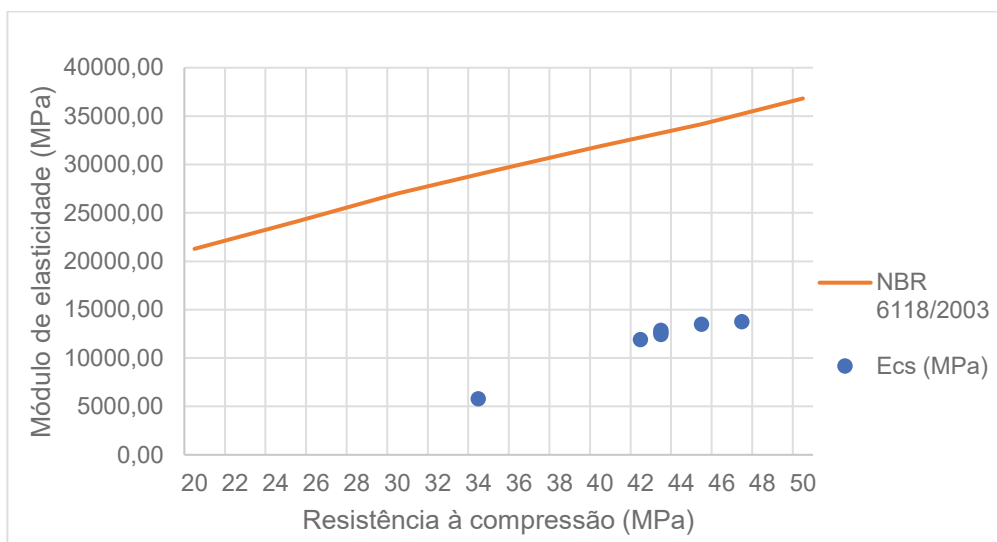
##### 4.2.1. Análise comparativa do módulo de elasticidade com a equação fornecida pela NBR 6118/2003

A NBR 6118/2003 fornecia uma equação para avaliar o módulo de elasticidade em função da resistência à compressão, a qual pode ser descrita na equação 15.

$$Ecs = 0,85 \times 5600 \times \sqrt{fck} \quad (25)$$

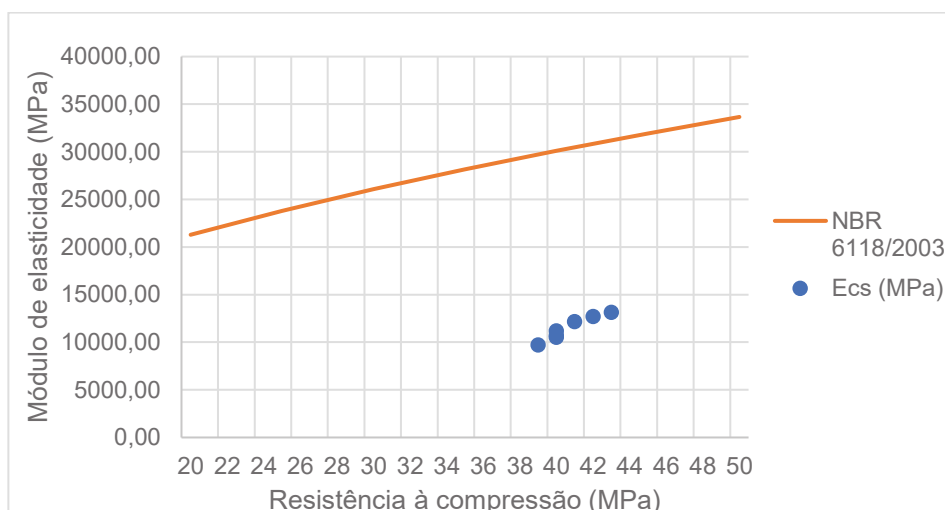
Os valores obtidos nos ensaios foram comparados com os valores calculados utilizando a equação em questão. Essa comparação pode ser observada nas Figura 20 e 21.

**Figura 20 - Comparação dos resultados de brita 0 com NBR 6118/2003**



Fonte: Autor.

**Figura 21 - Comparação dos resultados de brita 1 com NBR 6118/2003**



Fonte: Autor.

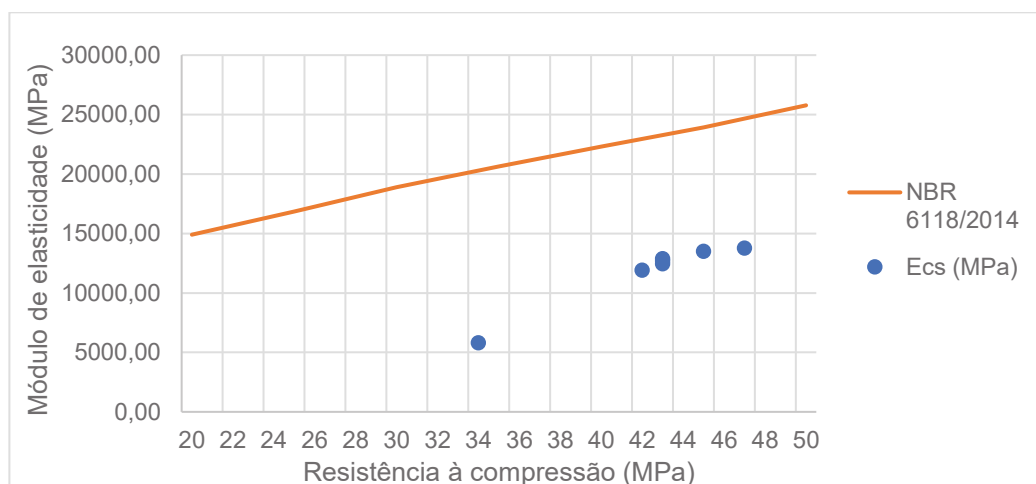
#### 4.2.2. Análise comparativa do módulo de elasticidade com a equação fornecida pela NBR 6118/2014

A NBR 6118/2014 fornece uma equação para avaliar o módulo de elasticidade em função da resistência à compressão, a qual modifica o fator de minoração ( $\alpha_i$ ) em função do  $f_{ck}$ , calculado conforme a equação 3, a qual foi descrita anteriormente. Além de adicionar um fator que minora ou majora o módulo de elasticidade dependendo da origem do agregado graúdo, no caso do arenito minorando para 70% do seu valor ( $\alpha_e=0,7$ ), como demonstra a equação 16.

$$E_{cs} = a_i \times a_e \times 5600 \times \sqrt{f_{ck}} \quad (16)$$

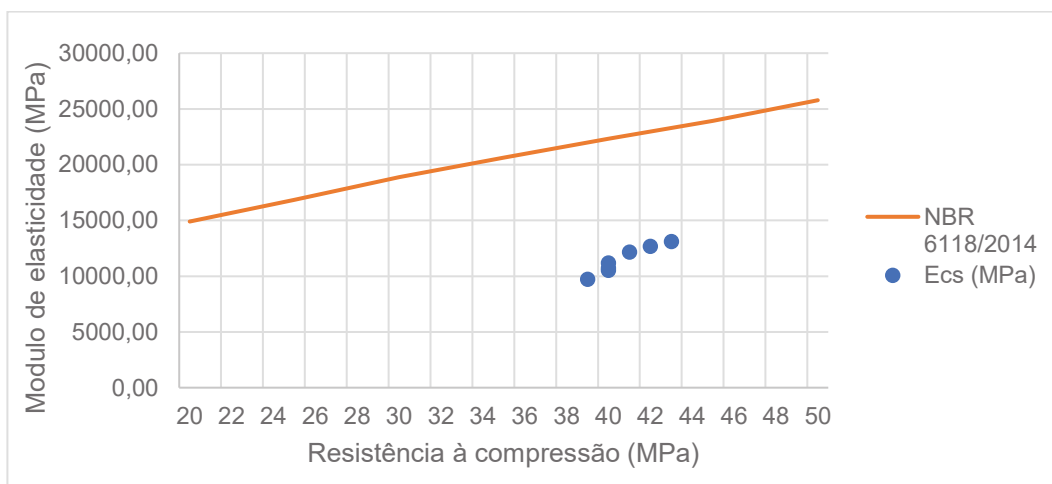
A comparação dos valores obtidos com os valores desta equação pode ser observada nas Figura 22 e 23.

**Figura 22 - Comparação dos resultados de brita 0 com NBR 6118/2014**



Fonte: Autor.

**Figura 23 - Comparação dos resultados de brita 1 com NBR 6118/2014**



Fonte: Autor.

#### 4.2.3. Análise comparativa do módulo de elasticidade com a equação fornecida pela ACI 318/2011

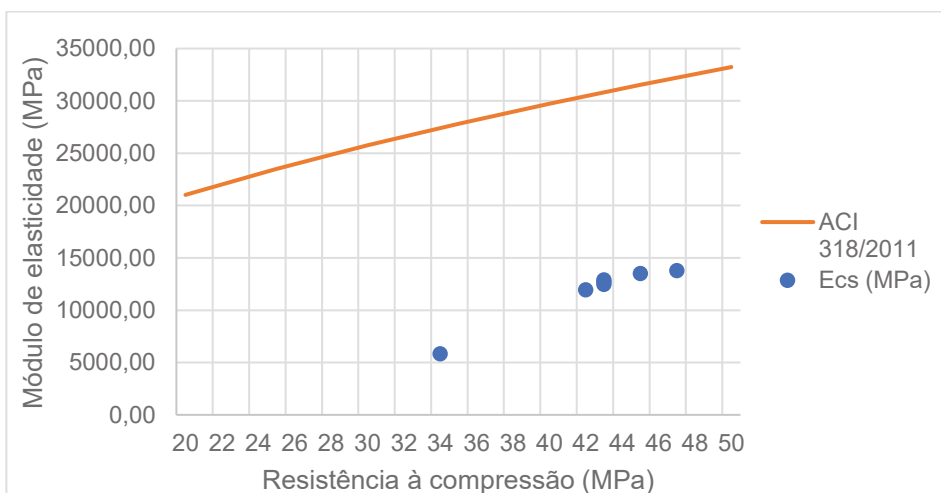
A ACI 318/2011 utiliza uma equação para avaliar o módulo de elasticidade em função da resistência à compressão, similar a NBR 6118/2003, não levando em consideração um fator que relacione a origem do agregado, descrita na equação 17.



$$E_{cs} = 4700 \times \sqrt{f_{ck}} \quad (17)$$

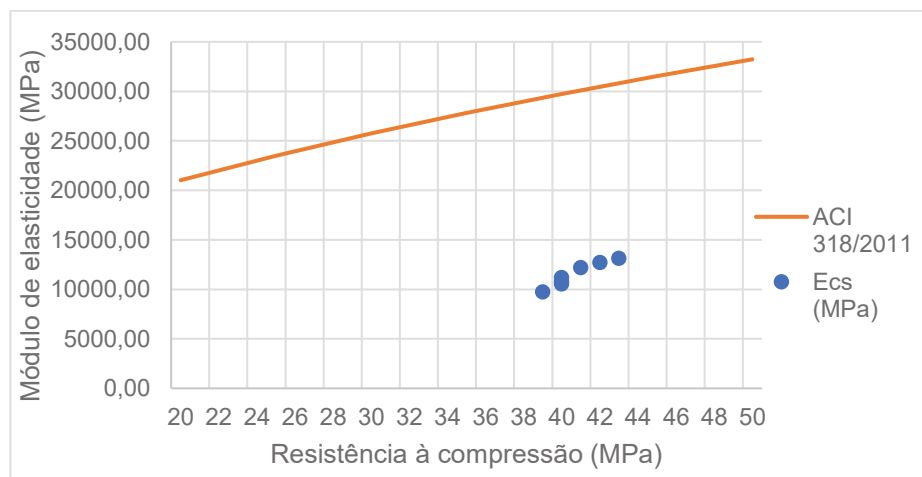
As Figura 24 e 25 possibilitam a comparação dos valores desta equação com os valores obtidos nos ensaios.

**Figura 24 - Comparação dos resultados de brita 0 com ACI 318/2011**



Fonte: Autor.

**Figura 25 - Comparação dos resultados de brita 1 com ACI 318/2011**



Fonte: Autor.

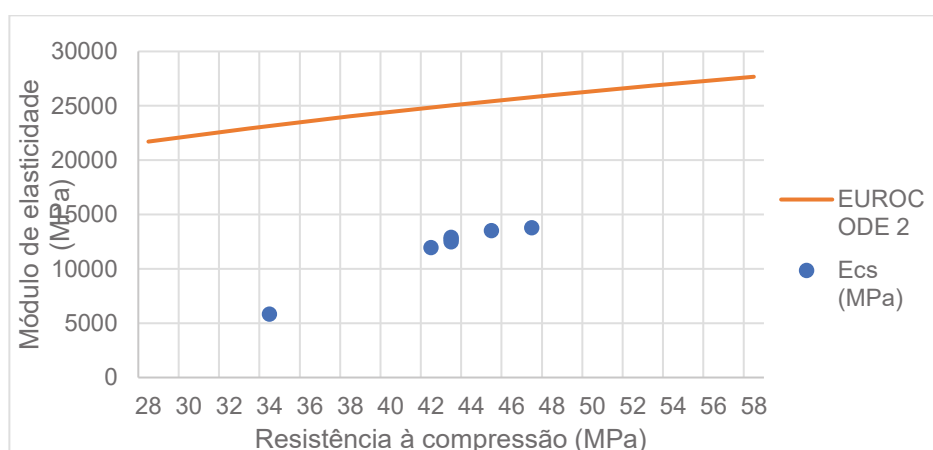
#### 4.2.4. Análise comparativa do módulo de elasticidade com a equação fornecida pela EUROCODE 2/2004

A EUROCODE 2/2004 avalia o módulo de elasticidade em função da resistência à compressão de dosagem, adicionando um fator que minora ou majora o módulo de elasticidade dependendo da origem do agregado graúdo, para o arenito minorando para 70% do seu valor ( $\alpha_e=0,7$ ), como demonstra a equação 18.

$$E_{cs} = 22000 \times \alpha_e \times \sqrt[3]{\frac{f_{cm}}{10}} \quad (18)$$

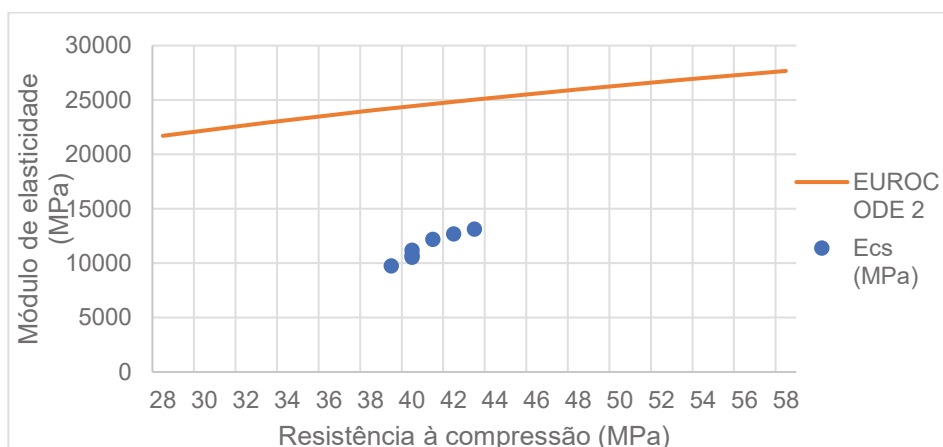
Os valores obtidos nos ensaios foram comparados com os valores calculados utilizando a equação em questão. Essa comparação pode ser observada nas Figura 26 e 27.

**Figura 26 - Comparação dos resultados de brita 0 com EUROCODE 2/2004**



Fonte: Autor.

**Figura 27 - Comparação dos resultados de brita 1 com EUROCODE 2/2004**



Fonte: Autor.

#### **4.2.5. Análise das comparações gráficas de módulo de elasticidade**

Tendo em vista que todas as comparações obtiveram resultados similares, optou-se por relatar em apenas um tópico as análises relativas aos resultados de módulo de elasticidade.

É possível observar que para todas as normas os valores obtidos em ensaios se mostraram inferiores aos fornecidos pelas equações. A causa mais provável que explica este fato possivelmente está relacionada a metodologia utilizada para determinação do módulo de elasticidade dos corpos de prova, tendo em vista que essa não é normatizada, podendo haver erros nos valores de deslocamento fornecidos pelo equipamento.

Comparando os resultados obtidos entre si, pode ser observada uma coerência nos valores, onde resistências à compressão maiores geraram módulos de elasticidade maiores. Além disso, os valores de módulo de elasticidade do agregado graúdo com maior dimensão se apresentaram levemente superiores aos do agregado menor, quando comparados corpos de prova com valores próximos de resistência à compressão.

Em relação as normas vigentes, pode-se apenas afirmar que a norma NBR 6118/2014 é a norma mais conservativa em seus valores de módulo de elasticidade, garantindo que em mais casos o valor fornecido por sua equação seja inferior ou igual ao valor real do módulo de elasticidade. Já a norma ACI 318/2011 apresentou-se como a norma com maiores valores de módulo de elasticidade. Isso se deve ao fato da mesma não utilizar um fator que majore ou minore o valor de módulo de elasticidade para origem mineralógica do agregado graúdo.

## 5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos e análises feitas neste trabalho, podem ser feitas as seguintes conclusões:

- A dosagem de concreto com uso de agregado graúdo arenítico pela metodologia da ABCP não fornece um concreto com o abatimento determinado, sendo necessário adaptar o traço ou utilizar aditivos para garantir a trabalhabilidade requerida;
- Os valores de resistência à compressão dos concretos elaborados com agregado graúdo arenítico atenderam a resistência solicitada, confirmando que, em casos de disponibilidade, este material pode ser uma opção viável (devendo-se analisar questão custo/benefício);
- O agregado de menor dimensão apresentou, em sua maioria, valores maiores de resistência à compressão em relação ao de maior dimensão. Porém a amplitude entre seus valores de máximo e mínimo foi maior;
- Os valores de módulo de elasticidade, quando comparados entre si, apresentaram coerência. Sendo que, para valores próximos de resistência à compressão, o agregado maior apresentou módulo de elasticidade levemente superior ao agregado de menor dimensão;
- Para se confirmar que as normas vigentes, tanto nacionalmente, quanto internacionalmente, estão coerentes deverá ser realizado um novo ensaio de módulo de elasticidade utilizando uma metodologia conforme NBR 8522/2008.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMBROZEWICZ, Paulo Henrique Laporte. **Materiais de Construção: Normas, Especificações, Aplicação e Ensaio de Laboratório**. São Paulo: PINI, 2012.

ALHADAS, Miguel Fernando Schettini. **ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO AGREGADO GRAÚDO DE DIFERENTES ORIGENS MINERALÓGICAS NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO**. 2008. 126f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

ALSAMAN, Ali et al. **Evaluation of modulus of elasticity of ultra-high performance concrete**. 2017. *Construction and Building Materials*.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE – ACI. **ACI 318 R-11 – Building Code Requirements For Structural Concrete (ACI 318 -11) and Commentary (ACI 318 R-11)**. Estados Unidos: ACI, 2011;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. **Dosagem de concreto: importância, parâmetros e ajustes laboratoriais (Método ABCP)**. São Paulo, 2016. Disponível em: <<https://www.abcp.org.br/cms/>> Acesso em: 15 de Maio de 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 23 Cimento Portland e outros materiais em pó**. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 52 Agregados miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2003a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 53 Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009a.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 248 Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003b.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5739 Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6118 Projeto de Estruturas de concreto**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7211 Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009b.

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

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

BARBOSA, Isa Lorena Silva. **INFLUÊNCIA DOS AGREGADOS GRAÚDOS NA REGIÃO DE GOIÂNIA NO MÓDULO DE DEFORMAÇÃO TANGENTE INICIAL DO CONCRETO**. 2009. 136f. Dissertação de Mestrado – Engenharia Civil – Universidade Federal de Goiás, 2009.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de Construção**. 5.ed. Volume 1. Rio de Janeiro: LTC. 2008.

BONATO, Luciano Cezar. **REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO, PRINCIPAIS CAUSAS E ESTUDO DE REATIVIDADE POTENCIAL**. 2015. 69f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.

COLARES, Fábio dos Santos; ARNS, Pedro. **REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE ARENITO DA FORMAÇÃO BOTUCATU EM INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA**. 2015. 17f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade do Extremo Sul Catarinense, 2015.

COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR - CAPES. **Bases de estruturas cristalinas**. Disponível em: <<http://bdec.dotlib.com.br/>> Acesso em: 30/08/2018.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARD. **EN 1992-1-1: Eurocode 2: design of concrete structures: part 1: general rules and rules for buildings**. London, 2004.

GALOBARDES, Isaac et al. **Estimation of the modulus of elasticity for sprayed concrete**. 2013. Construction Building Materials.

METHA, Povindar Kumar; MONTEIRO, Paulo José Melaragno. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: PINI. 2000.

OLIVEIRA, Eduardo de et al. A UTILIZAÇÃO DE ROCHA SEDIMENTAR COMO AGREGADO DE CONCRETO - A EXPERIÊNCIA DA UHE COLÍDER. **XXX Seminário Nacional de Grandes Barragens**, Foz do Iguaçu, 2015.

RODOLPHO, Paula Medeiros. **COMPORTAMENTO DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO CONTENDO AREIA BRITADA**. 2007. 169f. Dissertação de Mestrado – Estruturas e Construção Civil – Universidade de Brasília, 2008.

SANTOS, Antonio Carlos do et al. Estudo comparativo entre valores teóricos e 281 resultados experimentais de módulo de elasticidade de concretos produzidos com diferentes tipos de agregado graúdo. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 3, p. 249-262, 2017

SANCHEZ, Leandro Francisco Moretti. **CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DOS MÉTODOS DE ENSAIO NA AVALIAÇÃO DAS REAÇÕES ÁLCALI-AGREGADO EM CONCRETOS**. 2008. 170f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, 2008.

SCHMAL, Martin. **Catálise Heterogênea**. Rio de Janeiro: Synergia, 2011.

SUGUIO, Kenitiro. **Geologia sedimentar**. São Paulo: Blucher. 2003.