

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA – UFPB
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PEDRO SIQUEIRA MOURA GOMES NUNES PEREIRA

**ESTUDO DE DOSAGEM DE CONCRETO PARA TRAÇOS RICOS COM AGREGA-
DOS DA REGIÃO DE JOÃO PESSOA**

JOÃO PESSOA

2018

PEDRO SIQUEIRA MOURA GOMES NUNES PEREIRA

**ESTUDO DE DOSAGEM DE CONCRETO PARA TRAÇOS RICOS COM AGREGA-
DOS DA REGIÃO DE JOÃO PESSOA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Givanildo Alves de Azeredo

JOÃO PESSOA

2018

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

P436e Pereira, Pedro Siqueira Moura Gomes Nunes.

ESTUDO DE DOSAGEM DE CONCRETO PARA TRAÇOS RICOS COM
AGREGA-DOS DA REGIÃO DE JOÃO PESSOA / Pedro Siqueira
Moura Gomes Nunes Pereira. - João Pessoa, 2018.
56 f. : il.

Orientação: Givanildo Azeredo.
TCC (Especialização) - UFPB/CT.

1. Abatimento. 2. Concreto. 3. Dosagem. 4. Resistência.
5. Teor de argamassa. I. Azeredo, Givanildo. II. Título.

UFPB/BC

FOLHA DE JULGAMENTO

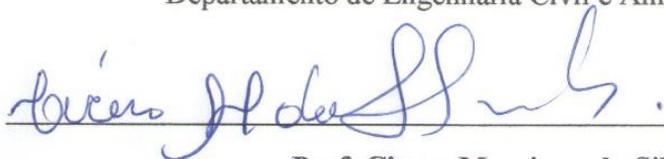
PEDRO SIQUEIRA MOURA GOMES NUNES PEREIRA
ESTUDO DE DOSAGEM DE CONCRETO PARA TRAÇOS RICOS COM
AGREGADOS DA REGIÃO DE JOÃO PESSOA

Trabalho de Conclusão de Curso defendido em 1º de novembro de 2018 perante a
seguinte Banca Julgadora:

 APROVADO

Prof. Givanildo Alves de Azeredo

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

 APROVADO.

Prof. Cicero Marciano da Silva Santos

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia IFPB

 APROVADO

Prof. Marcos Alyssandro Soares dos Anjos

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia IFPB



Prof.a Dra. Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga

Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

Matrícula Siape: 1668619

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família, aos meus pais Raimundo Nunes e Ana Cecília e ao meu irmão Lucas, por estarem sempre ao meu lado nos momentos de maior necessidade. Por sempre me darem o suporte necessário em todas as batalhas enfrentadas.

À Roberta de Carvalho Barbosa, companheira nessa jornada e que sempre esteve com disposição máxima para me ajudar. Sou grato por sua energia e carinho para que eu pudesse me tornar a pessoa que sou hoje.

Ao LABEME, em especial ao professor Givanildo Azeredo, por sempre demonstrar paciência e força de vontade a fim de transmitir todo o conhecimento, garantindo um aprendizado inigualável. Agradeço aos técnicos que estiveram presentes no laboratório como Delby e Sebastião que auxiliaram e sanaram as dúvidas pertinentes quanto ao funcionamento dos equipamentos do laboratório.

A Raimundo Neto e Danilo Medeiros, que fizeram o esforço máximo para ajudarem nos ensaios realizados e que tudo ocorresse bem. Agradeço também pelo laço de amizade criado e estreitado durante toda a realização desse trabalho.

Aos meus amigos João Paulo, Davi, Ian, Danilo, Ricardo, Lucas Giovanni, Lucas Quintino, Eduardo que estiveram presentes e ajudaram diretamente ou indiretamente no decorrer do trabalho.

Por fim, a todas as pessoas que conheci na UFPB e que me ajudaram no crescimento pessoal e profissional, tornando-me uma pessoa melhor com o passar dos anos.

RESUMO

O concreto é o material mais utilizado na construção civil devido à sua praticidade e seu rendimento. Porém, como os seus agregados possuem uma alta variabilidade nas regiões brasileiras, se faz necessário um estudo desses materiais para cada localidade. Assim, essa pesquisa consistiu na realização de ensaios laboratoriais para avaliação do comportamento do concreto com baixo teor de agregados ($m = 3,5$) e com diferentes teores de argamassa pelo método de dosagem de Helene e Terzian (1993) na região metropolitana de João Pessoa/PB. Inicialmente, caracterizou-se os agregados através de ensaio granulométrico, de massa específica, e de teor de umidade, a fim de se obter uma análise comportamental quando incrementados ao concreto. Logo, dosou-se 6 traços com abatimento de $5 \pm 1 \text{ cm}$ e mais 6 para $7 \pm 1 \text{ cm}$ para verificação dos principais parâmetros do concreto como resistência à compressão, teor água/cimento, teor de argamassa, abatimento e consumo de cimento. Os resultados forneceram valores que apontaram para um teor de argamassa ideal de 0,58.

Palavras-chaves: Abatimento. Concreto. Dosagem. Resistência. Teor de argamassa.

ABSTRACT

Concrete is the most used material in the civil construction due to its practicality and its efficiency. However, since the aggregates have a high variability in the Brazilian regions, it is necessary to study these materials for each locality. Thus, this research consisted in laboratory tests to evaluate the behavior of concrete with low content of aggregates ($m = 3.5$) and with different mortar contents by the method of measurement of Helene and Terzian (1993) in the metropolitan area of João Pessoa/PB. Initially, the aggregates were characterized by granulometric test, specific mass and moisture content, in order to obtain a behavioral analysis when increased to concrete. Therefore, 6 traces with 5 ± 1 cm and more 6 for 7 ± 1 cm slumps were measured to verify the main concrete parameters such as compressive strength, water/cement content, mortar content, slump and cement consumption. The results provided values that indicated an ideal mortar content of 0,58.

Key words : Concrete. Dosage. Mortar content. Resistance. Slump.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Corpo de prova rompido	14
Figura 2 - Tipos de adições para cimentos Portland, segundo NBR 16697/2018.....	15
Figura 3 - Tipos de graduação do solo	18
Figura 4 - Diagrama de dosagem.....	21
Figura 5 - Ensaio de abatimento	25
Figura 6 - Cimento Portland V ARI	28
Figura 7 - Agregado miúdo (a) e graúdo (b) armazenados em toneis	28
Figura 8 – Série de peneiras para granulometria dos agregados miúdo (a) e graúdo (b)	29
Figura 9 – Peso do Recipiente + Placa	30
Figura 10 - Peso do Recipiente + Placa + Areia(a); Peso do Recipiente + Placa + Brita(b)....	30
Figura 11 - Peso do Recipiente + Placa + Areia + Água(a); Peso do Recipiente + Placa + Brita + Água(b);	30
Figura 12 - Ensaio do teor de umidade.....	31
Figura 13 - Concreto fresco em recipiente umedecido.....	34
Figura 14 - Tronco de cone rasado	35
Figura 15 - Abatimento do concreto.....	35
Figura 16 – Concreto no molde de corpo de prova(a); Cura submersa dos corpos de prova(b)	36
Figura 17 - Máquina utilizada para ensaio de compressão axial.....	37
Figura 18 - Corpo de prova com neoprene na face superior	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais fatores que influenciam o resultado da resistência à compressão potencial do concreto medida no ensaio de controle.....	11
Tabela 2 - Ensaio para agregado miúdo e graúdo	16
Tabela 3 - Consistências do concreto conforme finalidade	25
Tabela 4 - Coeficientes finais dos agregados	39
Tabela 5 - Diâmetro máximo e módulo de finura dos agregados.....	39
Tabela 6 - Ensaio de massa específica aparente	40
Tabela 7 - Teor de umidade	41
Tabela 8 - Traços Individuais	41
Tabela 9 - Traço para moldagem de 6 corpos de prova.....	42
Tabela 10 - Fator água cimento, abatimento e bloqueio de agregados para traço com abatimento $5 \pm 1 \text{ cm}$	42
Tabela 11 - Fator água cimento, abatimento e bloqueio de agregados para traço com abatimento $7 \pm 1 \text{ cm}$	42
Tabela 12 - Consumo por metro cúbico para traço com abatimento $5 \pm 1 \text{ cm}$	43
Tabela 13 - Consumo por metro cúbico para traço com abatimento $7 \pm 1 \text{ cm}$	43
Tabela 14 - Tensão de ruptura dos corpos de prova conforme idade para traço com abatimento $5 \pm 1 \text{ cm}$	43
Tabela 15 - Tensão de ruptura dos corpos de prova conforme idade para traço com abatimento $7 \pm 1 \text{ cm}$	43
Tabela 16 - Média da tensão de ruptura para traço com abatimento $5 \pm 1 \text{ cm}$	44
Tabela 17 - Média da tensão de ruptura para traço com abatimento $7 \pm 1 \text{ cm}$	44
Tabela 18 - Ensaio granulométrico da areia	51
Tabela 19 - Ensaio de granulométrico da brita.....	51
Tabela 20 - Diâmetro correspondente ao material passante dos agregados miúdo e graúdo ...	52
Tabela 21 – Resultados da granulometria.....	52
Tabela 22 - Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo	53
Tabela 23 - Limites da distribuição granulométrica do agregado graúdo	53

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Problemática e justificativa.....	11
1.2	Objetivos	12
1.3	Estruturação do trabalho	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1	Componentes do concreto	14
2.1.1	<i>Cimento</i>	15
2.1.2	<i>Agregados</i>	16
2.1.2.1	<i>Ensaio dos agregados</i>	17
2.1.3	<i>Água</i>	19
2.2	Traço	19
2.3	Propriedades dos concretos.....	20
2.3.1	<i>Resistência à compressão</i>	21
2.3.2	<i>Fator água/cimento</i>	23
2.3.3	<i>Teor de agregados</i>	23
2.3.4	<i>Teor de argamassa</i>	24
2.3.5	<i>Abatimento</i>	24
3	MÉTODO DE TRABALHO	27
3.1	Materiais e ensaios utilizados.....	27
3.1.1.1	<i>Granulometria</i>	28
3.1.1.2	<i>Massa específica aparente</i>	29
3.1.1.3	<i>Teor de umidade</i>	31
3.2	Dosagem do concreto	31
3.3	Preparação dos materiais	33
3.4	Execução e ensaio do concreto	34
3.5	Moldagem e cura dos corpos de prova.....	36
3.6	Ensaio de compressão	36
4	ANÁLISE DOS RESULTADOS	38
4.1	Caracterização dos agregados	38
4.1.1	<i>Granulometria</i>	38
4.1.2	<i>Massa específica aparente</i>	40
4.1.3	<i>Teor de umidade</i>	41
4.2	Concreto.....	41
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
5.1	Conclusão.....	47
5.2	Sugestões para trabalhos futuros	47
	REFERÊNCIAS	49
	APÊNDICE A – resultados do ensaio granulométrico	51
	ANEXO A.....	53

1 INTRODUÇÃO

O cimento é um aglomerante que após a adição de água, reage quimicamente, adquirindo resistência mecânica. Além do cimento e da água, existe a possibilidade de combinação com outros materiais, por exemplo, a mistura composta pela adição de cimento, água, agregados miúdos e graúdos, constituindo assim o concreto.

Segundo a Associação Brasileira De Cimento Portland (ABCP), tem-se registro da utilização do cimento há aproximadamente 4500 anos, em monumentos do Egito antigo, em grandes obras gregas e romanas, como o Panteão e Coliseu. E, em 1756, o engenheiro britânico, John Smeaton, descobriu o emprego do cimento hidráulico e o aplicou na reconstrução do farol de Eddystone.

A sua utilização na engenharia civil ainda cresce por causa da facilidade de se produzir, de se aplicar e por apresentar um ótimo desempenho, e atualmente ocupa a segunda posição dos materiais mais utilizados no mundo, ficando atrás da água. Com o desenvolvimento da engenharia civil, aumentou-se a complexidade das edificações, conseqüentemente aumentando a sobrecarga das suas estruturas.

Desse modo, o concreto que anteriormente era produzido de forma empírica precisou ser estudado e aperfeiçoado. Logo, surgiu o estudo da dosagem do concreto, da análise das características e proporções dos materiais que eram utilizados e como eram produzidos.

Um grande avanço no estudo de dosagens e de materiais ocorreu em meados do século XVIII nas regiões da França e Inglaterra, com destaque do pesquisador francês Vicat sobre a importância da granulometria da areia e inconvenientes do excesso de água (Helene & Terzian, 1993). Ainda, em 1927, o engenheiro Ary Torres publica a obra intitulada “Dosagem dos concretos” com o primeiro método de dosagem brasileiro, conhecido como dosagem IPT¹, que contribuiu imensamente para o crescimento do estudo de dosagens no Brasil.

¹ Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, referência nacional em pesquisa e desenvolvimento com mais de 118 anos de história.

Em 1993, Paulo Helene e Paulo Terzian publicaram o “Manual de Dosagem e Controle do Concreto” contendo uma compilação dos aprimoramentos dos principais métodos de dosagens utilizados, fundamentando desde os princípios da tecnologia de cimentos até o aperfeiçoamento e simplificações dos parâmetros de dosagem.

Ainda, esses autores destacam outros pontos importantes que devem ser atendidos: as exigências de projeto, as condições de exposição e operação, e as técnicas de execução adequadas. Assim, como o cimento é o material principal e de maior custo no concreto, a busca pelo aprimoramento do consumo, ou seja, que atenda aos requisitos necessários com menor quantidade, é um dos papéis principais da dosagem de concreto.

1.1 Problemática e justificativa

Os materiais que compõem o concreto apresentam diferentes propriedades e dependem do controle de qualidade da extração, da fabricação ou do transporte, além da sua localização geográfica, sendo necessários vários ensaios e testes para aprovação do seu uso. Além disso, todo o processo de execução do concreto, desde a betonada à moldagem, apresenta diversas variáveis, acarretadas pela ação antrópica e pela natureza.

Por isso existem várias causas que influenciam o resultado da resistência à compressão potencial do concreto. A Tabela 1 produzida por Helene e Terzian (1993) demonstra qual efeito máximo no resultado é causado por essas variações.

Tabela 1 - Principais fatores que influenciam o resultado da resistência à compressão potencial do concreto medida no ensaio de controle

Causas da variação	Efeito máximo no resultado
A - Materiais	
• Variabilidade da resistência do cimento	±12%
• Variabilidade da quantidade total de água	±15%
• Variabilidade dos agregados(principalmente miúdo)	±8%
B - Mão-de-Obra	
• Variabilidade do tempo e procedimento de mistura	30%
C – Equipamento	
• Ausência de aferição de balanças	15%
• Mistura inicial, sobre e subcarregamento, correias,etc.	10%
D – Procedimento de ensaio	
• Coleta imprecisa	10%
• Adensamento inadequado	50%
• Cura (efeito considerado a 28 dias ou mais)	±10%
• Remate inadequado dos topos	30% para concavidade e 50% para convexidade
• Ruptura (velocidade de carregamento)	±5%

Fonte: Helene e Terzian (1993)

Como a maioria dos laboratórios em que ocorreram os estudos de concreto se localizam na região sudeste do Brasil, há uma divergência de resultados para os concretos produzidos na região nordeste. Além disso, segundo Barboza e Bastos (2008), os traços de concreto constantes em tabelas antigas, ainda hoje muito utilizados na confecção de concretos para obras de pequeno porte, não atendem aos requisitos de qualidade hoje exigidos.

Logo, é necessário um estudo de dosagem que contenha métodos de caracterização e execução atualizados e que sirvam de referencial para os concretos baseados nos materiais e no clima da região metropolitana de João Pessoa.

1.2 Objetivos

O trabalho tem como objetivo, estudar, analisar e verificar a dosagem do concreto composto por agregados da região de João Pessoa com alto consumo de cimento baseando-se no método de Helene e Terzian (1993), a fim de se obter resultados que possam ser analisados e tornarem-se referências futuras.

Como objetivos específicos, têm-se:

- a) Ensaiar e analisar os agregados da região que serão utilizados no concreto;
- b) Realizar traços com diferentes teores de argamassa, a fim de se obter a quantidade ideal de argamassa na mistura para abatimento constante;
- c) Realizar ensaios de compressão axial para determinar a resistência à compressão do concreto com 7, 14 e 28 dias;
- d) Elaborar gráficos que correlacionem os parâmetros principais: teor de argamassa, relação água/cimento, consumo de cimento, abatimento e resistência à compressão.

1.3 Estruturação do trabalho

Este trabalho é dividido em 5 capítulos. Neste primeiro capítulo, demonstrou-se a importância do concreto e do seu estudo de dosagem. Apresentou-se a evolução dos estudos e qual a problemática no cenário atual, justificando e apontando os objetivos deste trabalho.

O segundo capítulo contém a fundamentação teórica, no qual são apresentados os materiais constituintes do concreto e como são ensaiados para obter suas características que influenciam nos parâmetros como resistência à compressão, fator água/cimento, teor de agregados, teor de argamassa e abatimento.

O terceiro capítulo apresenta a caracterização dos materiais através dos ensaios de granulometria, de massa específica e de teor de umidade. Além disso, demonstra o roteiro de cálculo para determinação do traço rico para, então, execução do traço no qual se obtém o abatimento e o teor água/cimento. Por fim, é realizado a moldagem dos corpos de prova e o seu ensaio de compressão.

O quarto capítulo retrata a análise dos resultados e as discussões obtidas a partir da metodologia aplicada. São demonstrados todos os resultados dos ensaios de caracterização e qual a influência dos mesmos na mistura. Ainda, discute-se o comportamento dos parâmetros e geram-se gráficos entre si.

Por fim, no quinto capítulo, tem-se as considerações finais baseadas na fundamentação teórica e nos experimentos executados no quarto capítulo.

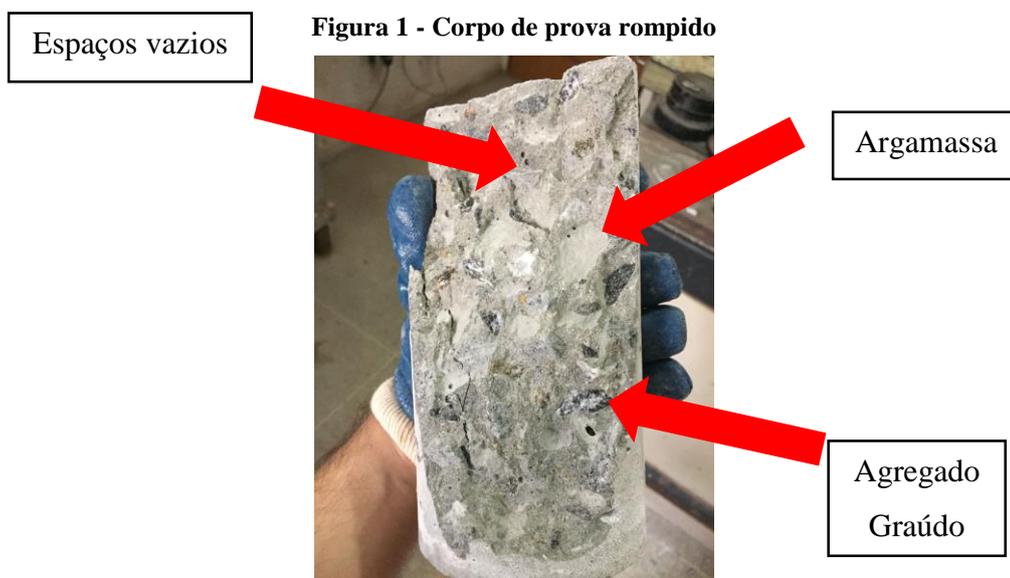
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo irá conter os principais assuntos e definições acerca do estudo de dosagem de concreto pelo método de Helene e Terzian (1993). Serão estudadas as características dos materiais, possíveis comportamentos quando combinados, e sua importância na engenharia civil.

2.1 Componentes do concreto

Segundo o conceito Neville e Brooks (2010), o concreto, no seu sentido mais amplo, é qualquer produto ou massa produzido a partir do uso de um meio cimentante, que é o produto da reação entre um cimento hidráulico e água. Ele pode ser produzido com vários tipos de cimento com adição ou não de pozolanas.

O concreto fresco é constituído dos agregados miúdo e graúdo envolvidos por pasta de cimento e espaços cheios de ar. A pasta, por sua vez, é composta essencialmente de uma solução aquosa e grãos de cimento. Ainda, o ar pode encontrar-se envolvido na pasta, sob a forma de bolhas, ou em espaços interligados, assim podendo se determinar a plasticidade ou a não plasticidade da mistura (BAUER, 2008). A Figura 1 ilustra a estrutura de um corpo de prova rompido, com seus materiais bem definidos.



Fonte: do Autor (2018)

Além dos materiais principais para a fabricação do concreto, existem diversas adições que podem conferir um melhoramento como aditivos retardadores, plastificantes, incorporadores de ar, dentre muitos outros. Neste trabalho, será estudado o concreto obtido pelo método de

dosagem de Helene e Terzian (1993), que é o concreto mais tradicional, constituído, apenas, de cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e água.

2.1.1 Cimento

O cimento, principal componente do concreto, é um material finamente pulverizado, que sozinho não é um aglomerante, mas desenvolve propriedades ligantes quando hidratado. Um cimento é dito hidráulico quando seus produtos de hidratação são estáveis em meio aquoso. O cimento Portland é o cimento hidráulico mais usado na fabricação do concreto, consistindo essencialmente de mistura de óxidos de cálcio, silício, alumínio e ferro (FREIRE, 2005).

Atualmente, diversos tipos de cimentos são utilizados na construção civil. A NBR 16697/2018 é a vigente atualmente para todos os tipos e diz quais requisitos são necessários para a aprovação. Essa grande variabilidade se dá pelas diferentes possibilidades das composições a serem produzidas para determinadas finalidades. A Figura 2 abaixo mostra a variabilidade de cimentos existentes e normatizados pela NBR 16697/2018.

Figura 2 - Tipos de adições para cimentos Portland, segundo NBR 16697/2018

Tabela 1 - Designação normalizada, sigla e classe do cimento Portland

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

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

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

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

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

Fonte: NBR 16697/2018

2.1.2 Agregados

Os agregados são materiais inertes utilizados no concreto que, quando misturados ao cimento, conseguem conferir características positivas no comportamento da mistura, na resistência, na durabilidade ou na trabalhabilidade. Além disso, geram uma economia no gasto de materiais pois compõem boa parte da totalidade do concreto.

Segundo a NBR NM 52/2009, agregado miúdo é todo agregado que passa na peneira com abertura de malha de 9,5 mm, que passa quase totalmente na peneira 4,75 mm e fica retido, em sua maior parte, na peneira 75 μm ; ou se define como a porção que passa na peneira de 4,75 mm e fica retida quase totalmente na peneira de 75 μm . Ainda, o material é classificado como agregado graúdo quando a maior parte de suas partículas é retida na peneira com abertura de malha de 4,75 mm, ou a porção retida nessa mesma peneira (NBR NM 53, 2009).

Segundo Bauer (2008):

Os agregados constituem um componente importante no concreto, contribuindo com cerca de 80% do peso e 20% do custo de concreto estrutural sem aditivos, de fck da ordem de 15 MPa.

Eles podem ser obtidos de maneira natural, ou seja, da forma como são encontrados na natureza, como a areia, brita cascalho ou podem ser obtidos através de um processo industrializado onde se obtêm, por exemplo, a pedra britada com diferentes graduações ou areias com alta finura que só podem ser obtidas por processos específicos.

Ainda segundo Bauer (2008), a gama de variação é tão larga que é necessário estudo preciso e maior controle da qualidade tanto antes quanto durante a execução da obra. Assim, para ambos os agregados, serão feitos os ensaios que interferem diretamente no funcionamento do concreto: ensaios de granulometria e de massa específica para a brita, e os ensaios de granulometria, de massa específica e de teor de umidade para a areia. A Tabela 2 resume quais ensaios serão feitos para cada agregado.

Tabela 2 - Ensaios para agregado miúdo e graúdo

Propriedades físicas	Método por norma	
	Agregado miúdo	Agregado graúdo
Granulometria	ABNT NBR 7211	ABNT NBR 7211
Massa específica aparente	ABNT NBR 52	ABNT NBR 53
Teor de umidade	ABNT NBR 6467	-

Fonte: do Autor (2018)

2.1.2.1 Ensaio dos agregados

O ensaio de granulometria possui como objetivo a identificação do diâmetro máximo e do módulo de finura da areia e da brita. Os agregados se classificam em zonas fornecidas pela NBR 7211/2009, como demonstrado no ANEXO A. Elas fornecem dados que permitem analisar a qualidade desses materiais e como se comportarão quando incrementados ao concreto.

Quando a quantidade retida acumulada for menor ou igual a 5%, encontra-se o diâmetro máximo do agregado e tem-se o módulo de finura (M_f) a partir do somatório das porcentagens retidas acumuladas das peneiras, como demonstra a Equação 1.

$$M_f = \frac{\sum \% \text{ retida acumulada}}{100} \quad (1)$$

Ainda, calcula-se o coeficiente de não uniformidade, que indica quão uniforme é o material, conforme Equação 2, e calcula-se também o coeficiente de curvatura para classificação da graduação do solo, como apresenta a Equação 3.

$$C_{nu} = \frac{d_{60}}{d_{ef}} \quad (2)$$

$$C_c = \frac{(d_{30})^2}{d_{60} \times d_{10}} \quad (3)$$

Em que:

C_{nu} = coeficiente de não uniformidade;

d_{60} = diâmetro correspondente a 60% de material passante;

d_{ef} = diâmetro efetivo, abertura da peneira da qual tem-se 10% de material passante;

C_c = coeficiente de não uniformidade;

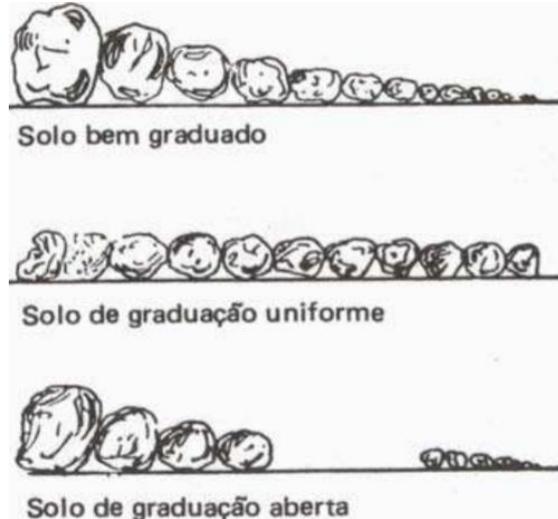
d_{30} = diâmetro correspondente a 30% de material passante;

Segundo Caputo (1988), à medida que cresce o coeficiente de não uniformidade, melhor sua graduação. Quando esse coeficiente é menor que 5, classifica-se como muito uniforme, já para valores entre 5 e 15, é classificado como uniformidade média e para valores maiores que 15, classifica-se como não uniforme.

Em contrapartida, o coeficiente de curvatura permite observar se há descontinuidade no agregado. Os solos bem graduados apresentam um coeficiente de curvatura entre 1 e 3, e quando

se tem valores menores que 1, a curva é descontínua. A Figura 3 ilustra os tipos de graduação do solo.

Figura 3 - Tipos de graduação do solo



Fonte: Caputo (1998)

Segundo Bauer (2008), a distribuição granulométrica tem influência na trabalhabilidade do concreto fresco: alta porcentagem de material fino exige aumento de água de amassamento e, conseqüentemente, de cimento. Por outro lado, concreto sem finos são concretos pouco trabalháveis, sujeitos a uma maior exsudação com grande permeabilidade e a agentes agressivos. Ainda, segundo Quiroga e Fowler (2003), a trabalhabilidade do concreto altera significativamente com a graduação dos agregados. As misturas com maiores teores de vazios necessitam de mais pasta para adquirir a trabalhabilidade requerida.

Os ensaios de massa específica aparente, conforme NBR NM 52/2009, buscam resultados da relação entre a massa do agregado seco e seu volume, incluindo os poros permeáveis como apresenta a Equação 4.

$$\gamma_1 = \frac{m_s}{V - V_a} \quad (4)$$

Em que:

γ_1 = massa específica aparente do agregado seco, em gramas por centímetro cúbico;

m_s = massa da amostra seca em estufa, em gramas;

V = volume do frasco, em centímetros cúbicos;

V_a = volume de água adicionada ao frasco, em centímetros cúbicos.

Segundo STOCOCO (2013), no caso do concreto de cimento Portland, a água contida nos poros do agregado não participa nas reações químicas do cimento, podendo ser considerada parte do agregado. Assim, nos cálculos do concreto, utiliza-se a massa específica aparente na condição saturada superfície seca. A massa específica do agregado graúdo saturado com superfície seca é mais fácil de ser determinada, sendo utilizada nos cálculos de dosagem de concreto e das quantidades de agregados para certo volume de concreto.

Ainda, tem-se o teor de umidade, regido pela NBR 6467/2006, no qual analisa-se a relação da quantidade de água existente na areia em relação a quantidade de sólidos. A partir desse ensaio, obtêm-se os dados suficientes para se conhecer o teor de umidade do agregado através da Equação 5 em que será utilizado para correção da água nos traços.

$$h = \frac{m_i - m_f}{m_f - m_c} \times 100 \quad (5)$$

Em que:

h = o teor de umidade do agregado, em porcentagem;

m_i = a massa inicial da cápsula com o material em ensaio, em gramas;

m_f = a massa após a secagem, da cápsula com o material em ensaio, em gramas;

m_c = a massa da cápsula, em gramas.

2.1.3 Água

A água tem grande importância na mistura do concreto, afetando diretamente o desempenho geral da mistura. Isso ocorre devido à reação química com o cimento, hidratando-o e gerando um produto que contém alta resistência. Logo, tem-se uma relação de água/cimento ideal quando a quantidade de água é suficiente na combinação para que o concreto consiga alcançar sua resistência máxima e com a trabalhabilidade desejada.

2.2 Traço

O traço é a distribuição proporcional de materiais com a finalidade de se obter um produto com propriedades adequadas à sua utilização. Com essa proporção, consegue-se produzir a mistura para quantidades variáveis mantendo as mesmas características. A maneira mais básica de representação do traço é em volume ou em massa, conforme a seguir:

$$1: a_r: p_r: a/c_r$$

Em que:

1 = massa de cimento em relação à própria massa de cimento

a_r = massa de areia em relação à massa de cimento

p_r = massa de brita em relação à massa de cimento

a/c_r = teor água/cimento, massa de água em relação à massa de cimento

O estudo experimental proposto por Helene e Terzian (1993) visa a montagem de um diagrama de dosagem através de traços que possuam quantidade fixa do teor de agregados correlacionando os principais fatores do concreto, como resistência à compressão, relação água/cimento, e abatimento que serão explicados posteriormente. Logo, busca-se o melhor desempenho do concreto sem alterar a quantidade total de agregados utilizados: a relação é obtida pela quantidade de cimento por quantidade total de agregados, cujo teor é calculado pela Equação 7.

$$1: m$$

$$m = a_r + p_r \quad (7)$$

Em que:

m = relação agregados secos/cimento em massa, em kg/kg;

a_r = relação agregado miúdo seco/cimento em massa, em kg/kg;

p_r = relação agregado graúdo seco/cimento em massa, em kg/kg.

2.3 Propriedades dos concretos

Segundo Couto et al (2013, apud MEHTA e MONTEIRO, 1994) (PÁG 51):

As razões para o uso tão difundido do concreto são: a facilidade com que elementos estruturais de concreto podem ser executados, numa variedade de formas e tamanhos; mais barato e mais facilmente disponível no canteiro de obra.

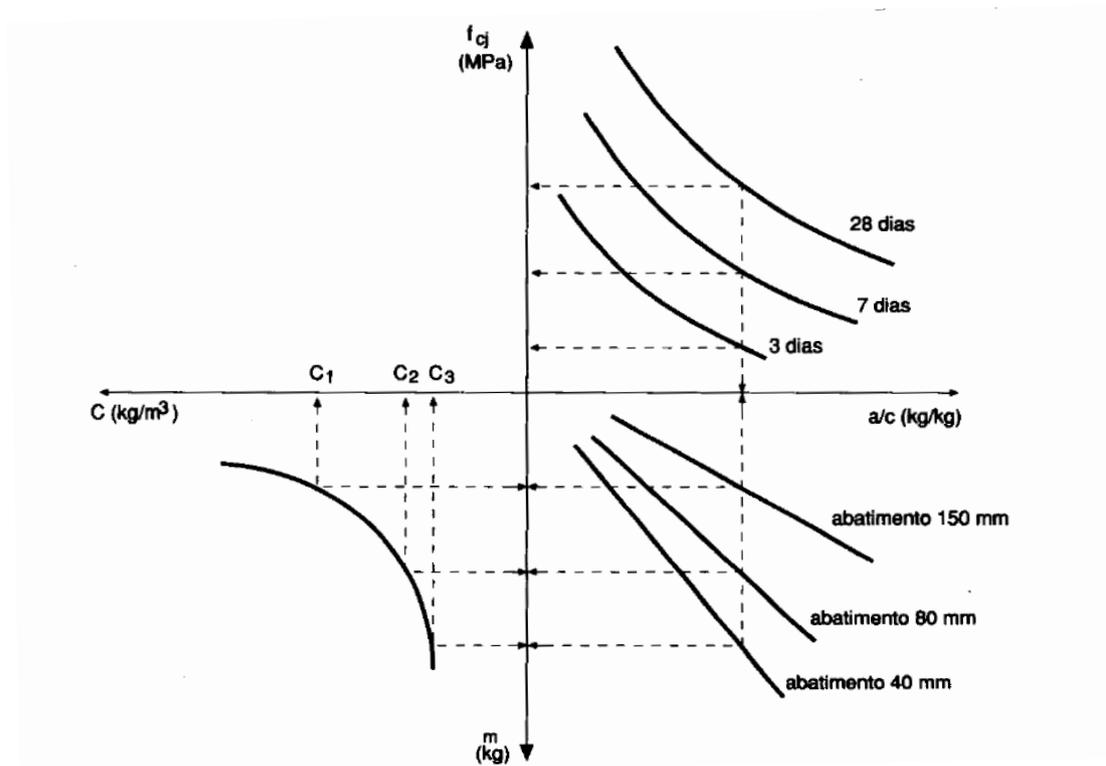
A NBR 6118/2014 elenca alguns requisitos de qualidade da estrutura, sendo eles: a capacidade resistente, que consiste basicamente na segurança à ruptura; o desempenho em serviço, que consiste na capacidade da estrutura de manter-se em condições plenas durante o período de utilização; e a durabilidade, que é a capacidade da estrutura resistir às intempéries previstas em projeto.

Então, dependendo da ação atuante na estrutura, será necessário um concreto que atenda às exigências previstas na norma e desempenhe seu papel proposto no projeto com excelência.

Diante dessas afirmações, este trabalho abordará o concreto simples e suas características de resistência à compressão e a sua trabalhabilidade, por serem as principais qualidades em um estudo de dosagem, não desprezando outros fatores, como durabilidade.

Os estudos das propriedades são baseados nos conceitos da literatura e nos conceitos fundamentais, conforme Helene e Terzian (1993) apresentam no seu manual. No qual são regidos por leis de comportamento do concreto, obtendo ao final dessas relações um diagrama de dosagem, conforme a Figura 4.

Figura 4 - Diagrama de dosagem



Fonte: Caputo (1998)

2.3.1 Resistência à compressão

A resistência à compressão axial é o maior parâmetro de classificação do concreto. Por meio dela, os projetistas concebem, por exemplo, qual elemento estrutural é o mais adequado ou se ele apresenta algum material para ajudar no seu comportamento, como ferragem, reforços metálicos, geotêxtil, dentre outros.

Assunção (2002, *apud* NEVILLE, 1993) vincula a resistência à compressão do concreto à estrutura da pasta de cimento hidratada, especificamente à relação água/cimento e ao grau de

adensamento da mistura, considerando os concretos adensados, como valida a Lei de Abrams na Equação 8.

$$f_{c_j} = \frac{k_1}{k_2^{a/c}} \quad (8)$$

Em que:

f_{c_j} = resistência à compressão axial do concreto, à idade “j” (MPa);

(a/c) = relação água/cimento (kg/kg);

k_1 e k_2 = constantes empíricas dependentes dos materiais utilizados.

Como o ganho de resistência do concreto se dá durante a hidratação do cimento, é nesse período em que é necessário um controle da cura, ou seja, fornecer água o suficiente para a mistura após sua moldagem, a fim de minimizar a perda da resistência final devido à perda excessiva de água por evaporação.

Ainda, a norma 6118/2014 apresenta uma verificação que se faz em idade inferior a 28 dias, através da Equação 9. A partir dessa relação, obtém-se o Gráfico 1 referente ao cimento utilizado neste trabalho, o CPV-ARI.

$$\beta_1 = \exp \{ s [1 - (28/t)^{1/2}] \} \quad (9)$$

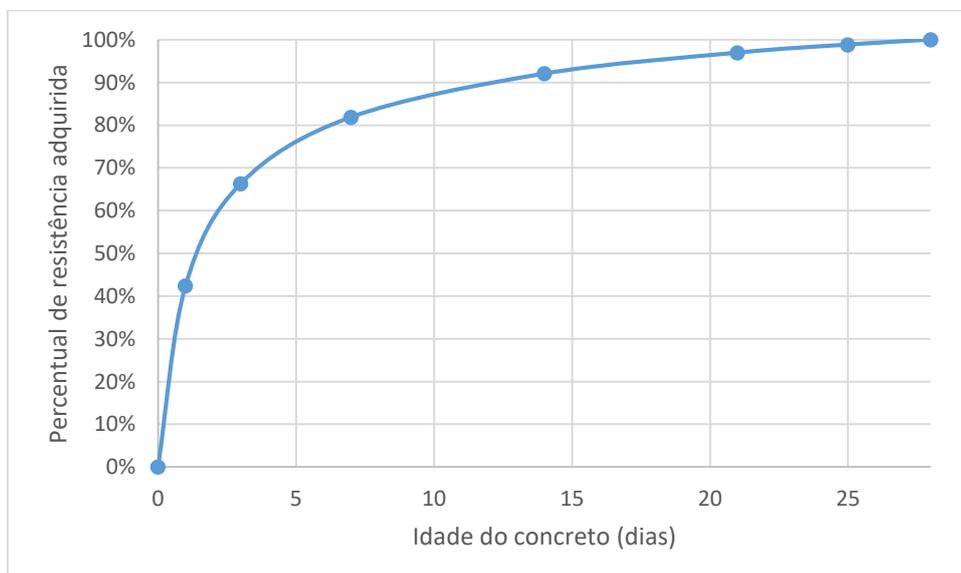
Em que:

β_1 = percentual da resistência do concreto;

$s = 0,20$ para concreto de cimento CPV-ARI;

t = a idade efetiva do concreto, em dias.

Gráfico 1 - Resistência à compressão adquirida do CPV-ARI em função da idade



2.3.2 Fator água/cimento

O fator água/cimento é a proporção da quantidade de água e concreto consumida na execução de um traço. Esse parâmetro é o que mais influencia o comportamento do concreto, pois está ligado diretamente com o teor de argamassa, abatimento, resistência e durabilidade do concreto.

Segundo Alves (2000), ao reduzir-se a relação água/cimento, as partículas de cimento ficam mais próximas umas das outras durante a mistura, diminuindo a porosidade capilar e o espaço livre para a formação de vazios. Conclui-se que, para uma efetiva diminuição da porosidade da pasta de cimento anidro, é necessário reduzir-se ao máximo a quantidade de ar incorporado e a relação água/cimento da mistura, limitando-os apenas ao suficiente e necessário para dar ao concreto a trabalhabilidade necessária ao seu transporte e lançamento.

Segundo Helene e Terzian (1993), observa-se que fixado um certo grau de hidratação, a resistência à compressão passa a ser função exclusiva da relação água/cimento, sempre que se tratar de concretos correntes amassados com agregados convencionais e de boa resistência.

Como observado anteriormente na Equação 8 no tópico 2.3.1, através da Lei de Abrams, quanto maior o fator água/cimento na mistura, maior a quantidade de água presente no traço por quantidade de cimento, e conseqüentemente um maior abatimento, gerando uma maior trabalhabilidade. Porém, caso seja muito elevado, aumenta a porosidade do concreto, diminuindo a resistência final; e quando muito baixo, o concreto poderá não ter trabalhabilidade suficiente e, apesar da resistência ser maior, poderá ocorrer fissuras decorrentes da retração.

2.3.3 Teor de agregados

Conforme visto anteriormente, existem várias classificações para determinadas propriedades dos agregados. Ao se analisar a Lei de Lyse através da Equação 10, vê-se que os agregados influenciam no consumo do concreto, expressa pela Equação 11, baseada na Lei de Molinari, assim como outras leis comportamentais apresentadas por Helene e Terzian (1993) na Figura 4.

$$m = k_3 + k_4 \times a/c \quad (10)$$

$$C = \frac{\gamma_c}{1+a_r+p_r+a/c} \quad (11)$$

Em que:

m = relação agregados secos/cimento em massa, em kg/kg;

(a/c) = relação água/cimento, em kg/kg;

k_3 e k_4 = constantes empíricas dependentes dos materiais utilizados.

2.3.4 Teor de argamassa

O teor de argamassa é a quantidade expressa em proporção da relação entre areia e brita de um traço, como pode-se observar na Equação 12.

$$\frac{1+a_r}{1+a_r+p_r} = \alpha \quad (12)$$

Em que:

a_r = relação agregado miúdo seco/cimento em massa, em kg/kg;

p_r = relação agregado graúdo seco/cimento em massa, em kg/kg.

α = teor de argamassa.

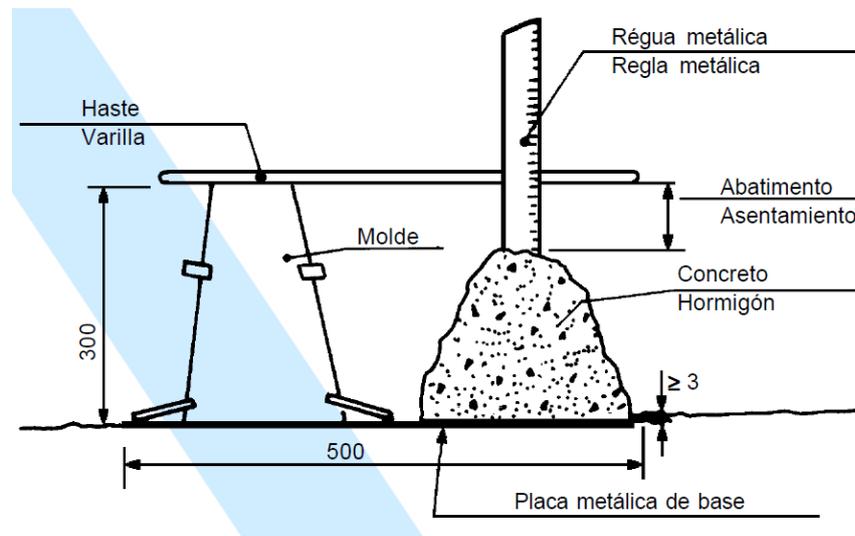
Esse parâmetro é de grande influência no estudo de dosagem, pois está ligado diretamente ao consumo de cimento. É necessária uma quantidade de argamassa que seja suficiente para fornecer coesão ao concreto e que alcance a resistência desejada, pois tanto o excesso quanto a falta de argamassa podem gerar patologias graves ao concreto.

2.3.5 Abatimento

O abatimento é a verificação da trabalhabilidade do concreto para a destinação final, o qual deve apresentar coesão suficiente da pasta cimentícia com os agregados, garantindo manuseio para a aplicação. Ele é obtido pelo teste de abatimento ou *slump test*, ensaio normatizado pela NBR NM 67/1998.

Sucintamente, o ensaio consiste em fazer camadas sucessivas de concreto no molde do tronco de cone, as quais são compactadas com a haste de adensamento com a quantidade de golpes definidas, à velocidade constante. Após a retirada do tronco de cone, mede-se o abatimento do concreto, conforme ilustra a Figura 5.

Figura 5 - Ensaio de abatimento



Fonte: NBR NM 67 (1998)

Enquanto no concreto endurecido a relação água/cimento é fundamental em termos de resistência mecânica, na condição plástica ganha importância a porcentagem da massa de água em relação à massa da mistura fresca (relação água/mistura seca). Esse parâmetro tem influência significativa na trabalhabilidade, uma vez que interfere diretamente na consistência da mistura tornando-a mais plástica, ou seja, mais trabalhável (ASSUNÇÃO, 2002, *apud* NEVILLE, 1997 e SOBRAL, 1990).

A falta de água acarreta um concreto mais seco, diminuindo a trabalhabilidade, o que pode ocasionar um bloqueio de agregados. Conseqüentemente, tem-se um concreto menos resistente, pois, quando mal adensado, gera espaços vazios que diminuem sua capacidade resistiva. No entanto, o excesso de água torna o concreto muito fluido e sem coesão, segregando seus componentes. A Tabela 3 apresenta as consistências do concreto conforme sua finalidade.

Tabela 3 - Consistências do concreto conforme finalidade

Elemento estrutural	Abatimento (mm)	
	Pouco armada	Muito armada
Laje	$\leq 60 \pm 10$	$\leq 70 \pm 10$
Viga e parede armada	$\leq 60 \pm 10$	$\leq 80 \pm 10$
Pilar do edifício	$\leq 60 \pm 10$	$\leq 80 \pm 10$
Paredes de fundação, sapatas, tubulões	$\leq 60 \pm 10$	$\leq 70 \pm 10$

Fonte: Helene e Terzian (1993)

Como a maioria dos elementos estruturais necessitam de um abatimento próximo a 7 cm para enchimento, escolheu-se o intervalo de 6 cm a 9 cm como ponto de trabalhabilidade

suficiente. Caso o abatimento no ensaio ultrapasse esses valores, é necessário refazer o concreto e, se insuficiente, adiciona-se água até a consistência desejada.

3 MÉTODO DE TRABALHO

Para a compreensão do estudo de dosagem experimental, algumas etapas de trabalho foram seguidas:

- a) Estudo do método de dosagem, de acordo com Helene e Terzian (1993);
- b) Avaliação dos materiais utilizados;
- c) Avaliação do comportamento do concreto;
- d) Método para produção de traços de concreto com abatimento $5 \pm 1\text{cm}$ e $7 \pm 1\text{cm}$.

3.1 Materiais e ensaios utilizados

Os materiais utilizados neste trabalho foram cimento, areia e brita que foram fornecidos pela empresa Eletrificações Luar LTDA sob forma de doação. De acordo com o mesmo representante da empresa, a areia foi adquirida de uma empresa da região do rio Paraíba, nas redondezas do município de Santa Rita, Paraíba. Ainda, a brita foi adquirida da empresa COMPECC, que possui uma pedreira situada em Gurinhém, Paraíba.

Todos os experimentos foram executados no Laboratório de Ensaios de Materiais e Estruturas – LABEME, localizado na Universidade Federal da Paraíba – UFPB, campus I. Além disso, foi cedido um espaço e equipamentos adequados para o armazenamento dos materiais.

O cimento utilizado é o CPV-ARI MAX da marca NACIONAL da empresa BRENNAND, conforme ilustra a Figura 6. Ele foi escolhido devido ao grande uso na construção civil e por apresentar-se em larga escala de utilização no estado da Paraíba. Ainda, destaca-se pela alta resistência inicial e desforma rápida. Não se fez ensaios do cimento, pois a empresa fornecedora já disponibiliza os relatórios de ensaio de forma bastante controlada.

Figura 6 - Cimento Portland V ARI

Fonte: Brennand Cimentos (2018)

Os agregados miúdo e graúdo, conforme ilustra a Figura 7, foram caracterizados para análise de sua influência nos traços executados. Eles foram armazenados em tonéis fechados a fim de manter o teor de umidade estável.

Figura 7 - Agregado miúdo (a) e graúdo (b) armazenados em toneis

(a)

(b)

Fonte: do Autor (2018)

3.1.1.1 Granulometria

Inicialmente, separou-se uma amostra com quantidade suficiente de cada material e espalhou-se em uma superfície limpa e sem umidade. Após secagem ao ar livre, levou-se os agregados para a sala onde ocorreram os ensaios e pesou-se a quantidade de 1000 gramas de areia e 1500 gramas de brita.

Montou-se a sequência do conjunto de peneiras da série normal e da série intermediária, sendo da abertura de 9,5 mm até 0,15 mm para areia e de 75 mm até 2,36 mm para a brita, conforme Figura 8. Logo, colocou-se os agregados na peneira de maior abertura e balançou-se energicamente até a passagem de todo o material pela série, anotando o peso retido acumulado em cada abertura com auxílio de balança eletrônica.

Figura 8 – Série de peneiras para granulometria dos agregados miúdo (a) e graúdo (b)



Fonte: do Autor (2018)

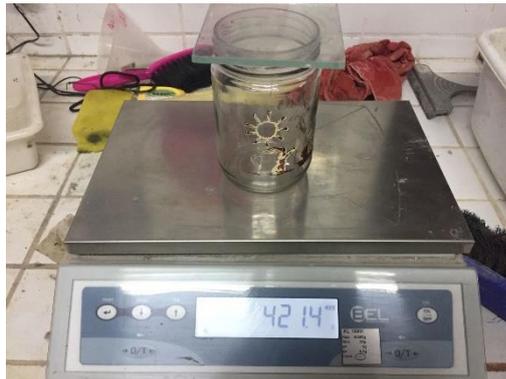
3.1.1.2 *Massa específica aparente*

Retirou-se uma quantidade da amostra que fosse suficiente para o ensaio de massa específica e colocou-se na estufa durante 24 horas à temperatura de 105°C para massa constante seca. Antes de dar procedimento à próxima etapa, esperou-se que os agregados atingissem a temperatura ambiente.

Salienta-se que como o laboratório não possuía o frasco de Chapman, utilizou-se um frasco com volume conhecido e manteve-se a mesma sequência do ensaio proposto pela NBR NM 52/2009. Ainda, utilizou-se o mesmo método para a brita, não seguindo os ensaios de massa específica de agregados graúdos propostos pela NBR NM 53/2009.

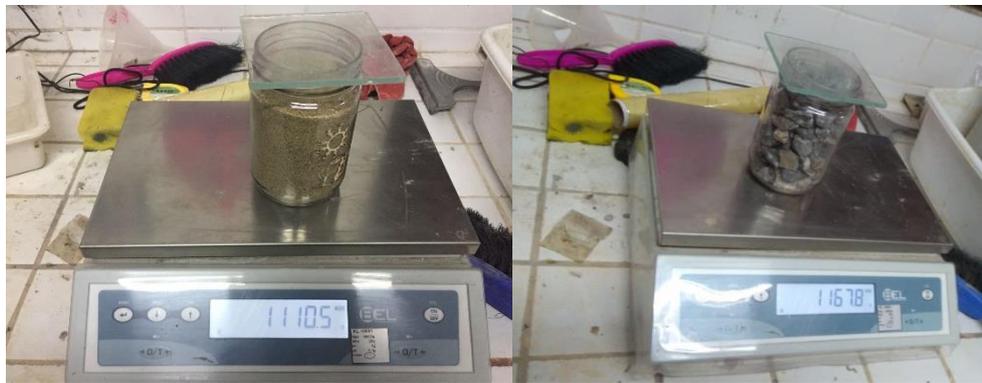
Então, pesou-se conjuntamente o frasco de vidro utilizado como recipiente e a placa de vidro e então registrou-se esse dado, conforme Figura 9. Logo, adicionou-se uma quantidade do material que preenchesse parcialmente o recipiente, e anotou-se esse peso, como demonstra a Figura 10.

Figura 9 – Peso do Recipiente + Placa



Fonte: do Autor (2018)

Figura 10 - Peso do Recipiente + Placa + Areia(a); Peso do Recipiente + Placa + Brita(b)



(a)

(b)

Fonte: do Autor (2018)

Em seguida, adicionou-se a água de modo que todos os espaços vazios existentes da amostra fossem preenchidos. Rasou-se com a placa de vidro para retirada de bolhas restantes e então anotou-se o peso de toda amostra, como a Figura 11 apresenta.

Figura 11 - Peso do Recipiente + Placa + Areia + Água(a); Peso do Recipiente + Placa + Brita + Água(b);



(a)

(b)

Fonte: do Autor (2018)

3.1.1.3 Teor de umidade

Primordialmente, pesou-se uma quantidade suficiente de areia e anotou-se o seu peso em conjunto com a cápsula. Em seguida, colocou-se na estufa durante um período de 24 horas a uma temperatura de 105°C com o intuito de retirar toda a umidade da amostra. Então, pesou-se o conjunto sem umidade e anotou-se os valores. A Figura 12 abaixo demonstra como foram pesados esses materiais.

Figura 12 - Ensaio do teor de umidade



Fonte: do Autor (2018)

3.2 Dosagem do concreto

Para a dosagem, é estabelecido primeiramente a relação entre cimento e agregados para o traço rico (1:m) e os teores de argamassas definidos para estudo, como demonstram as Equações 7 e 12, respectivamente.

$$a_r + p_r = m \quad (7)$$

$$\frac{1+a_r}{1+a_r+p_r} = \alpha \quad (12)$$

Então calcula-se a quantidade de agregado miúdo através da Equação 12 e a quantidade de agregado graúdo através da equação 7, consequentemente obtendo o traço unitário.

$$\frac{1+a_r}{1+a_r+p_r} = \alpha$$

$$\Rightarrow a_r = \alpha \times (1+m) - 1$$

$$a_r + p_r = m$$

$$\Rightarrow p_r = m - a_r$$

1: a_r : p_r (traço unitário)

Após a obtenção dos traços individuais para cada teor de argamassa, estimou-se a quantidade necessária de material para a moldagem dos corpos de prova de cada traço. Inicialmente, obteve-se o volume de material necessário por corpo de prova de dimensões 10 x 20 cm, conforme Equação 13.

$$V_{cp} = A \times h \quad (13)$$

$$V_{cp} = \frac{\pi \times 0,10^2}{4} \times 0,20$$

$$V_{cp} = 0,00157 \text{ m}^3 = 1,57 \text{ L}$$

Em que:

A = área do corpo de prova, m²;

h = altura do corpo de prova, m;

V_{cp} = volume do corpo de prova.

Devido ao grande volume de materiais utilizados, a amostragem por traço teve que ser reduzida para 6 corpos de prova, para serem rompidos 2 aos 7 dias, 2 aos 14 dias e 2 aos 28 dias após a confecção do concreto. Ainda, adicionou-se 10% ao valor final de cada quantidade de material, devido às perdas durante a execução do traço, assim:

$$\text{Volume de 6 corpos de prova} = 6 \times 1,57 = 9,42 \text{ L}$$

$$\text{Volume de 6 corpos de prova} + \text{perdas} = 9,42 \times 1,1 = 10,37 \text{ L}$$

Para encontrar o volume total gerado pelo traço unitário, fez-se o somatório dos volumes obtidos por cada componente, através da relação da massa do material e sua respectiva massa específica, logo tem-se, para o exemplo do primeiro traço unitário rico, através da Equação 14:

$$\text{Volume do Traço Unitário 1} = \frac{P_c}{\rho_c} + \frac{P_a}{\rho_a} + \frac{P_p}{\rho_p} + \frac{P_{\text{água}}}{\rho_{\text{água}}} \quad (14)$$

Em que:

P_c = peso do cimento, kg;

P_a = peso da areia, kg;

P_p = peso da brita, kg;

$P_{\text{água}}$ = peso da água, kg;

ρ_c = massa específica do cimento, g/cm³;

ρ_a = massa específica da areia, g/cm³;

ρ_p = massa específica da brita, g/cm³;

$\rho_{\text{água}}$ = massa específica da água, g/cm³.

Com o volume já calculado de 10,37 L para 6 corpos de prova, divide-se este valor pelo volume de cada traço, e assim, obtêm-se os traços para a produção de 6 corpos de prova. Então, repete-se o mesmo cálculo até obter a quantidade de material e os volumes totais de cada traço.

3.3 Preparação dos materiais

Inicialmente, separou-se todos os equipamentos necessários para a execução dos traços na betoneira, para o ensaio de abatimento e também para a análise da trabalhabilidade. Têm-se como instrumentos necessários:

- a) Moldes de corpos de prova cilíndricos de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, conforme a NBR 5738/2015;
- b) Haste de adensamento de aço, conforme a NBR 5738/2015;
- c) Molde de tronco de cone oco, com dimensões de diâmetro da base inferior de 200 mm, diâmetro da base superior de 100 mm e altura de 300 mm, conforme a NBR NM 67/1998;
- d) Placa metálica plana de dimensão superior a 500 mm, conforme a NBR NM 67/1998;
- e) Betoneira;
- f) Desmoldante;
- g) Colher de pedreiro;
- h) Trena;
- i) Balança;
- j) Recipientes para os materiais.

Para cada traço, pesou-se a quantidade de cimento, areia e brita, e colocou-se nos recipientes adequados para armazenamento. A água foi pesada e separada em porções com diferen-

tes teores de água/cimento, sendo: 1 galão contendo água com o equivalente à 40% da quantidade de cimento e vários copos contendo água com o equivalente à 1% da quantidade de cimento.

3.4 Execução e ensaio do concreto

Foram executados os 6 traços ricos propostos anteriormente com diferentes abatimentos. Os seis traços foram executados duas vezes cada, e possuíam abatimento aproximado de $5 \pm 1\text{cm}$ e de $7 \pm 1\text{cm}$, na primeira e na segunda vez, respectivamente. Todo o processo descrito neste tópico foi repetido para a produção do concreto.

Inicialmente, umedeceu-se a betoneira com auxílio de mangueira a fim de diminuir a perda de água do concreto para o equipamento e esperou-se a secagem da mesma para adição dos materiais. Ligou-se a máquina para dar início a mistura, então colocou-se toda a brita e aproximadamente 80% da água do galão na betoneira. Na sequência, colocou-se a areia e o cimento, sempre verificando se a homogeneização estava ocorrendo. Em seguida, adicionou-se o restante da água residual do galão e, gradualmente, dos copos, até atingir a consistência almejada.

Realizada a preparação do concreto, transferiu-se toda mistura da betoneira para um recipiente umedecido, a fim de minimizar a perda de água, e observou-se a trabalhabilidade com o auxílio de uma colher de pedreiro conforme a Figura 13. Caso o concreto apresentasse um aspecto muito seco, ou seja, uma trabalhabilidade ruim, retornava-se a mistura para a betoneira o mais rápido o possível e adicionava-se água gradativamente até que obtivesse a consistência desejada.

Figura 13 - Concreto fresco em recipiente umedecido



Fonte: do Autor (2018)

Após retirada de toda a mistura, procedeu-se para o ensaio de abatimento conforme a NBR NM 67/1998. Umedeceu-se com pano úmido o molde do tronco de cone oco, a placa

metálica e a haste de adensamento de aço que serão utilizados no ensaio. Logo, posicionou-se a placa metálica em local plano, então colocou-se o molde do tronco de cone na região central da placa e o operador do ensaio fixou os pés firmemente sobre as aletas do cone, de forma que houvesse uma estabilidade.

Encheu-se o cone com 3 camadas do concreto ensaiado, sendo cada uma com um terço da altura do cone. A cada camada, compactou-se com 25 golpes utilizando a haste de compactação atentando-se para não adentrar na camada anterior previamente adensada. Em seguida, rasou-se o molde do tronco de cone e retirou-se o excesso de concreto existente, como ilustra a Figura 14.

Figura 14 - Tronco de cone rasado



Fonte: do Autor (2018)

O operador então levantou o molde do tronco de cone em sentido vertical a velocidade constante a fim de executar em um tempo com intervalo de 5 a 10 segundos. Após a retirada do molde, mediu-se o abatimento do concreto através da diferença entre a altura do cone e a altura média do corpo de prova utilizando uma trena, conforme demonstra a Figura 15.

Figura 15 - Abatimento do concreto



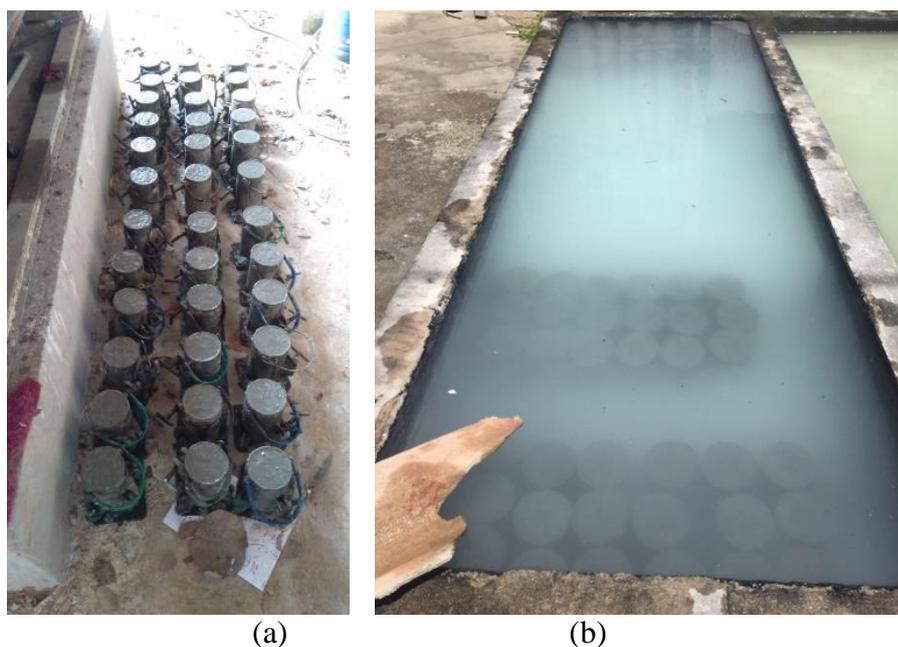
Fonte: do Autor (2018)

3.5 Moldagem e cura dos corpos de prova

A moldagem dos corpos de prova foi executada conforme a NBR 5738/2015. Envolveu-se a região interna dos moldes dos corpos de prova com desmoldante, então o concreto foi despejado, formando duas camadas, sendo cada uma com metade da altura do molde. A cada camada, aplicou-se 12 golpes para conferir o adensamento necessário conforme norma, atentando-se para adentrar um pouco na camada anterior.

Em seguida, deu-se alguns golpes na lateral do molde com pequeno pedaço de madeira, a fim de retirar uma parte dos vazios provocados pelo adensamento. Rasou-se com colher de pedreiro, e retirou o excesso de concreto existente, finalizando o processo de moldagem. No dia posterior a moldagem, os corpos de prova são desmoldados e levados ao tanque para o processo de cura submersa, como ilustra a Figura 16.

Figura 16 – Concreto no molde de corpo de prova(a); Cura submersa dos corpos de prova(b)



Fonte: do Autor (2018)

3.6 Ensaio de compressão

Os corpos de prova foram ensaiados segundo a norma NBR 5739/2018 no laboratório do LABEME localizado na UFPB. Eles foram retirados da cura submersa um dia antes da data prevista para o ensaio, a fim de não os romper completamente úmido. O ensaio foi executado em máquina digital específica da marca PAVITEST fabricada pela CONTENCO – INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA, calibrada pelo LabMetrol da UFRN, com padrões inerentes ao INMETRO, como demonstra a Figura 17.

Figura 17 - Máquina utilizada para ensaio de compressão axial



Fonte: do Autor (2018)

Antes do início do ensaio à compressão, regulou-se a máquina para a velocidade de carregamento aproximada de $0,2\text{MPa/s}$, e acoplou-se no topo menos nivelado do corpo de prova, uma peça de neoprene, com o tamanho suficiente para nivelar o corpo de prova, conforme Figura 18. Esse método de nivelamento ajuda na aplicação da força de maneira equivalente em todo o corpo de prova.

Figura 18 - Corpo de prova com neoprene na face superior



Fonte: do Autor (2018)

Após o rompimento do corpo de prova, anotou-se o comportamento da ruptura do concreto e os resultados da força aplicada. Repetiu-se o processo para todos os corpos de prova dos traços executados nas idades de 7, 14 e 28 dias já previstas no estudo.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo, serão apresentados os resultados encontrados para os ensaios de caracterização dos agregados, em que são analisadas as influências nos traços executados a partir de referenciais presentes na literatura e nas normas. Além disso, serão demonstrados os valores dos ensaios executados e a correlação entre seus dados.

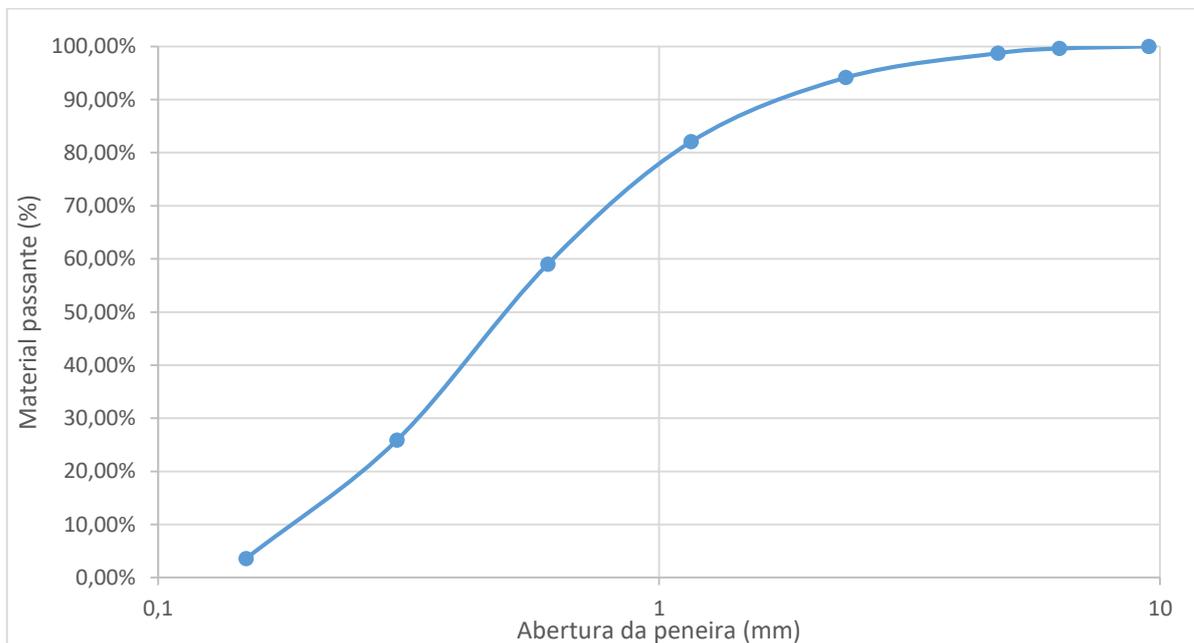
4.1 Caracterização dos agregados

Este tópico apresenta os resultados encontrados dos ensaios referentes aos agregados.

4.1.1 Granulometria

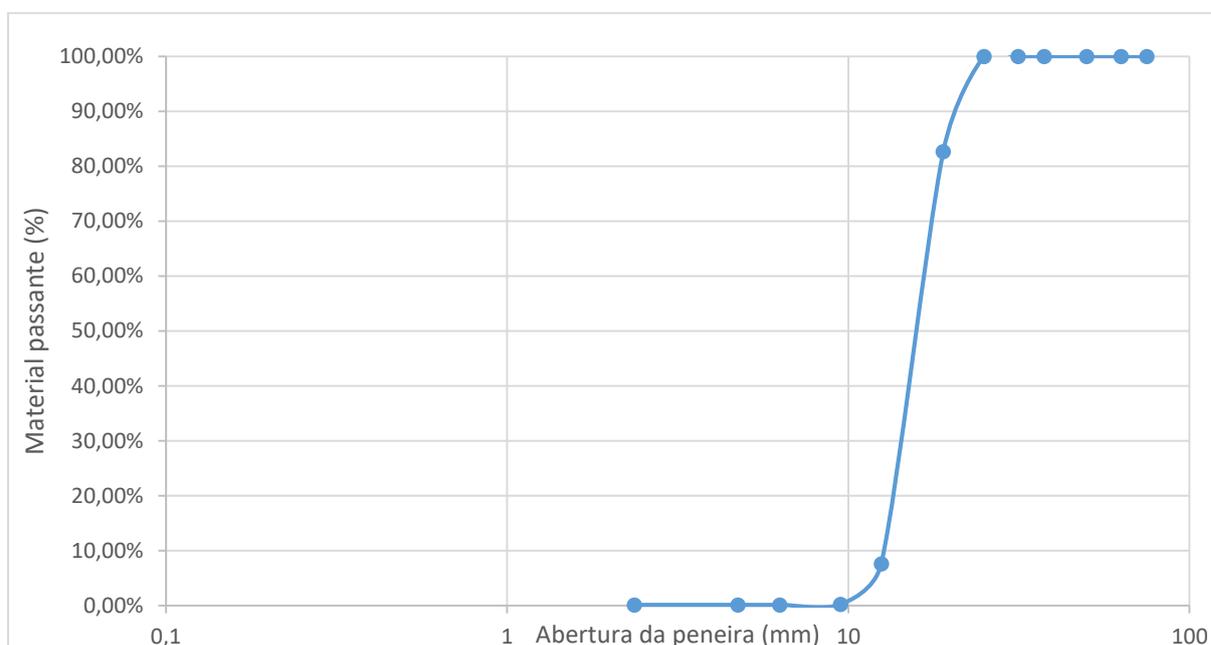
A partir do resultado da granulometria apresentado no APÊNDICE A – resultados do ensaio granulométrico, consegue-se classificar os agregados. As curvas granulométricas da areia e da brita são demonstradas no Gráfico 2 e no Gráfico 3.

Gráfico 2 - Curva granulométrica da areia



Fonte: do Autor (2018)

Gráfico 3 - Curva granulométrica da brita



Fonte: do Autor (2018)

A partir dos coeficientes apresentados na Tabela 4, pode-se classificar os agregados utilizados no concreto segundo Caputo (1988). O agregado miúdo, por apresentar coeficiente de não uniformidade igual a 3,93, classifica-se como muito uniforme e por apresentar coeficiente de curvatura igual a 1,02, confere-se como um solo bem graduado. Já o agregado graúdo é extremamente uniforme e mal graduado.

Tabela 4 - Coeficientes finais dos agregados

Coeficientes	Agregado miúdo	Agregado graúdo
C_{nu}	3,93	1
C_c	1,02	1

Fonte: do Autor (2018)

De posse desses valores granulométricos, encontra-se, também, o diâmetro máximo aferindo o valor da porcentagem retida acumulada que seja menor ou igual a 5%. E, para o módulo de finura, soma-se as porcentagens retidas acumuladas nas peneiras e divide-se por 100, obtendo a Tabela 5.

Tabela 5 - Diâmetro máximo e módulo de finura dos agregados

Ensaio	Agregado miúdo	Agregado graúdo
Diâmetro máximo (mm)	4,75	19
Módulo de finura	2,37	4,17

Fonte: do Autor (2018)

Os diâmetros máximos influenciam diretamente no lançamento do concreto, principalmente quando os agregados graúdos são de grande tamanho, podendo não se acomodar corretamente entre a armadura do elemento estrutural.

Já para o módulo de finura, conclui-se que o valor encontrado de 2,37 para a areia apresenta um ótimo resultado, pois a norma classifica como zona ótima os materiais que estão no intervalo de 2,20 a 2,90.

4.1.2 *Massa específica aparente*

Para o ensaio de massa específica aparente, utilizou-se a Equação 4 demonstrada no tópico 2.1.2.1 e os valores da Tabela 6:

$$\gamma_1 = \frac{m_s}{V - V_a}$$

Através dos resultados obtidos pelos ensaios de massa específica contidos na Tabela 6, obtêm-se as massas específicas aparentes da areia e da brita:

Tabela 6 - Ensaio de massa específica aparente

	Areia	Brita
Volume do recipiente (ml)	592,00	592,00
Massa do recipiente (g)	421,30	421,30
Massa do recipiente + material (g)	1110,50	1167,80
Massa do recipiente + material + água (g)	1410,80	1482,40
Massa do material (g)	689,20	746,50
Volume de água (ml)	300,30	314,60
Volume do material (ml)	291,70	277,40

Fonte: do Autor (2018)

$$\gamma_{areia} = 2,36 \text{ g/cm}^3$$

$$\gamma_{brita} = 2,69 \text{ g/cm}^3$$

Quanto maior a massa específica, menor o consumo de cimento, assim, como a massa específica aparente do agregado graúdo é próxima ao valor de 2,70 g/cm³, confere-se uma boa qualidade de suas características pois esse valor é próximo para as rochas graníticas apresentadas segundo STOCOCO, 2013. Em contrapartida, para a areia, o valor é abaixo da referência da literatura, de 2,60 g/cm³, assim, comparando-se a uma areia com maior valor há uma diminuição do consumo de cimento.

4.1.3 Teor de umidade

Obteve-se os teores de umidade do agregado contido em cada uma das cápsulas através da Equação 6, apresentada no item 2.1.2.1. Assim, obteve-se a Tabela 7 para os teores de umidade.

$$h = \frac{m_i - m_f}{m_f - m_c} \times 100$$

Tabela 7 - Teor de umidade

Peso do recipiente (g)	Recipiente + material úmido (g)	Recipiente + material seco (g)	Material úmido (g)	Material seco (g)	Teor de umidade real
22,8	83,2	82,7	60,4	59,9	0,83%

Fonte: do Autor (2018)

Considerou-se a areia totalmente seca para a execução do concreto devido ao teor de umidade próximo a 0%, assim não houve correção da água nos traços.

4.2 Concreto

Para a dosagem do traço rico, obtém-se os traços individuais ricos com diferentes teores de argamassa como demonstrado na Tabela 8, e a quantidade total de material necessária para produção dos 6 corpos de prova por traço como se observa na Tabela 9.

Tabela 8 - Traços Individuais

Traço Rico	Teor de argamassa	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)
1	0,52	1	1,34	2,16
2	0,54	1	1,43	2,07
3	0,56	1	1,52	1,98
4	0,58	1	1,61	1,89
5	0,60	1	1,70	1,80
6	0,62	1	1,79	1,71

Fonte: do Autor (2018)

Tabela 9 - Traço para moldagem de 6 corpos de prova

Traço Rico	Teor de argamassa	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	Volume (L)
1	0,52	5,93	7,94	12,80	10,37
2	0,54	5,93	8,46	12,24	10,37
3	0,56	5,93	8,97	11,68	10,38
4	0,58	5,93	9,48	11,13	10,38
5	0,60	5,93	9,99	10,58	10,38
6	0,62	5,93	10,50	10,03	10,39
Total		35,55	55,33	68,45	62,26

Fonte: do Autor (2018)

Após a execução de cada traço, detalhou-se o comportamento do concreto quanto à trabalhabilidade, obtendo os resultados na Tabela 10. Percebeu-se que à medida que o teor de argamassa aumentava, era necessária uma maior quantidade de água para se alcançar o abatimento desejado. Por exemplo, para teores de 0,52 e 0,62, necessitou-se 2% a mais de água na mistura para manter o abatimento de 8,5 cm. Todos os concretos apresentaram uma boa trabalhabilidade devido ao alto teor de argamassa, mantendo os elementos constituintes bem coesos.

Tabela 10 - Fator água cimento, abatimento e bloqueio de agregados para traço com abatimento 5 ± 1 cm

Traço Rico	Teor de argamassa	A/C	Abatimento (cm)	Bloqueio de agregados
1	0,52	0,44	5,5	Elevado
2	0,54	0,44	6,0	Moderado
3	0,56	0,43	5,0	Nenhum
4	0,58	0,44	4,0	Nenhum
5	0,60	0,44	5,0	Nenhum
6	0,62	0,45	5,0	Nenhum

Fonte: do Autor (2018)

Tabela 11 - Fator água cimento, abatimento e bloqueio de agregados para traço com abatimento 7 ± 1 cm

Traço Rico	Teor de argamassa	A/C	Abatimento (cm)	Bloqueio de agregados
1	0,52	0,48	8,5	Baixo
2	0,54	0,46	9,0	Nenhum
3	0,56	0,46	6,5	Nenhum
4	0,58	0,47	7,5	Nenhum
5	0,60	0,47	6,5	Nenhum
6	0,62	0,50	8,5	Nenhum

Fonte: do Autor (2018)

A partir de cada teor de água/cimento obtido para referente abatimento, tem-se o consumo de cimento por metro cúbico por cada traço, como pode se observar na Tabela 12 e na Tabela 13.

Tabela 12 - Consumo por metro cúbico para traço com abatimento 5 ± 1 cm

Traço Rico	Teor de argamassa	A/C	Abatimento (cm)	Cimento(kg)	Areia(kg)	Brita(kg)	Água(kg)
1	0,52	0,44	5,5	462	620	999	203
2	0,54	0,44	6,0	462	661	957	203
3	0,56	0,43	5,0	465	706	920	200
4	0,58	0,44	4,0	462	744	874	203
5	0,60	0,44	5,0	462	786	832	203
6	0,62	0,45	5,0	460	824	787	207

Fonte: do Autor (2018)

Tabela 13 - Consumo por metro cúbico para traço com abatimento 7 ± 1 cm

Traço Rico	Teor de argamassa	A/C	Abatimento (cm)	Cimento(kg)	Areia(kg)	Brita(kg)	Água(kg)
1	0,52	0,48	8,5	448	601	969	215
2	0,54	0,46	9,0	452	646	935	208
3	0,56	0,46	6,5	451	686	893	207
4	0,58	0,47	7,5	448	722	847	211
5	0,60	0,47	6,5	448	761	806	210
6	0,62	0,50	8,5	441	789	754	220

Fonte: do Autor (2018)

Na Tabela 14, tem-se os valores da tensão de ruptura dos corpos de prova em MPa.

Tabela 14 - Tensão de ruptura dos corpos de prova conforme idade para traço com abatimento 5 ± 1 cm

Traço Rico	TENSÃO DE RUPTURA DOS CORPOS DE PROVA (MPa)					
	CP1 – 7 DIAS	CP2 – 7 DIAS	CP3 – 14 DIAS	CP4 – 14 DIAS	CP5 – 28 DIAS	CP6 – 28 DIAS
1	34,50	40,87	39,59	36,10	42,91	39,04
2	37,08	30,66	41,24	40,74	41,54	43,00
3	37,75	35,74	35,66	41,79	46,24	46,74
4	35,53	32,67	49,27	41,72	42,51	38,90
5	35,42	39,60	40,88	37,76	46,89	42,35
6	33,74	35,32	43,32	42,90	45,52	43,70

Fonte: do Autor (2018)

Tabela 15 - Tensão de ruptura dos corpos de prova conforme idade para traço com abatimento 7 ± 1 cm

Traço Rico	TENSÃO DE RUPTURA DOS CORPOS DE PROVA (MPa)
------------	---

	CP1 – 7 DIAS	CP2 – 7 DIAS	CP3 – 14 DIAS	CP4 – 14 DIAS	CP5 – 28 DIAS	CP6 – 28 DIAS
1	30,43	26,02	20,60	32,29	28,63	24,83
2	36,00	34,99	38,70	36,03	36,46	29,98
3	30,50	37,35	34,59	38,59	35,50	31,43
4	34,34	31,79	31,23	41,76	28,74	30,66
5	29,20	28,81	26,46	34,13	31,64	29,41
6	30,81	31,25	33,03	32,77	26,05	32,07

Fonte: do Autor (2018)

Como pode-se observar na Tabela 14 e na Tabela 15, percebe-se que há uma falta de consistência no crescimento de resistência ao longo dos dias, contrariando a literatura. Assim, a fim de corrigir os erros, considerou-se somente os maiores valores dentre os dois corpos de prova moldados para cada dia, obtendo a Tabela 16 e a Tabela 17.

Tabela 16 - Média da tensão de ruptura para traço com abatimento 5 ± 1 cm

Traço rico	Teor de ar- gamassa	A/C	Abati- mento (cm)	Resistência (MPa) 7 DIAS	Resistência (MPa) 14 DIAS	Resistência (MPa) 28 DIAS
1	0,52	0,44	5,5	40,87	39,59	42,91
2	0,54	0,44	6,0	37,08	41,24	43,00
3	0,56	0,43	5,0	37,75	41,79	46,74
4	0,58	0,44	4,0	35,53	49,27	42,51
5	0,60	0,44	5,0	39,60	40,88	46,89
6	0,62	0,45	5,0	35,32	43,32	45,52

Fonte: do Autor (2018)

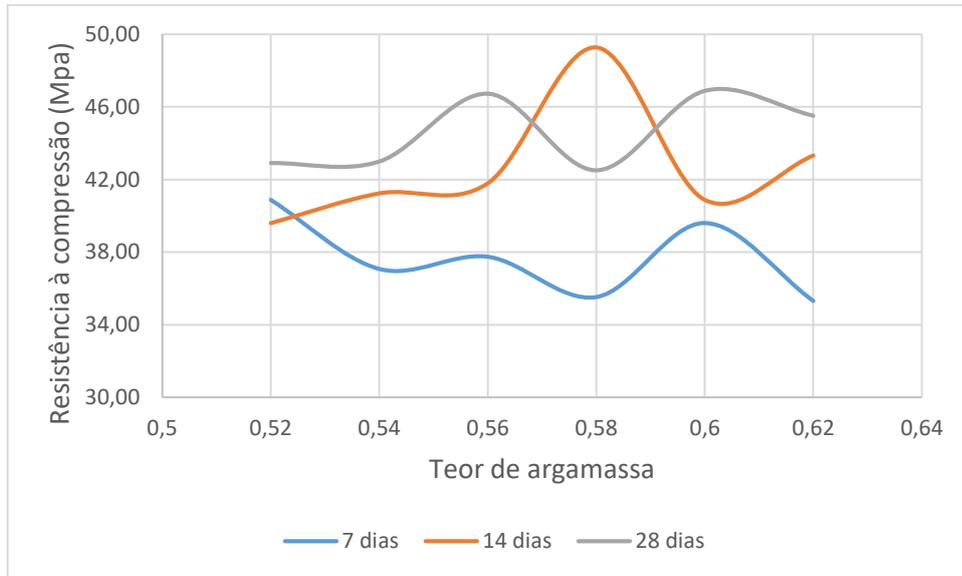
Tabela 17 - Média da tensão de ruptura para traço com abatimento 7 ± 1 cm

Traço rico	Teor de ar- gamassa	A/C	Abatimento (cm)	Resistência (MPa) 7 DIAS	Resistência (MPa) 14 DIAS	Resistência (MPa) 28 DIAS
1	0,52	0,48	8,5	30,43	32,29	28,63
2	0,54	0,46	9,0	36,00	38,70	36,46
3	0,56	0,46	6,5	37,35	38,59	35,50
4	0,58	0,47	7,5	34,34	41,76	30,66
5	0,60	0,47	6,5	29,20	34,13	31,64
6	0,62	0,50	8,5	31,25	33,03	32,07

Fonte: do Autor (2018)

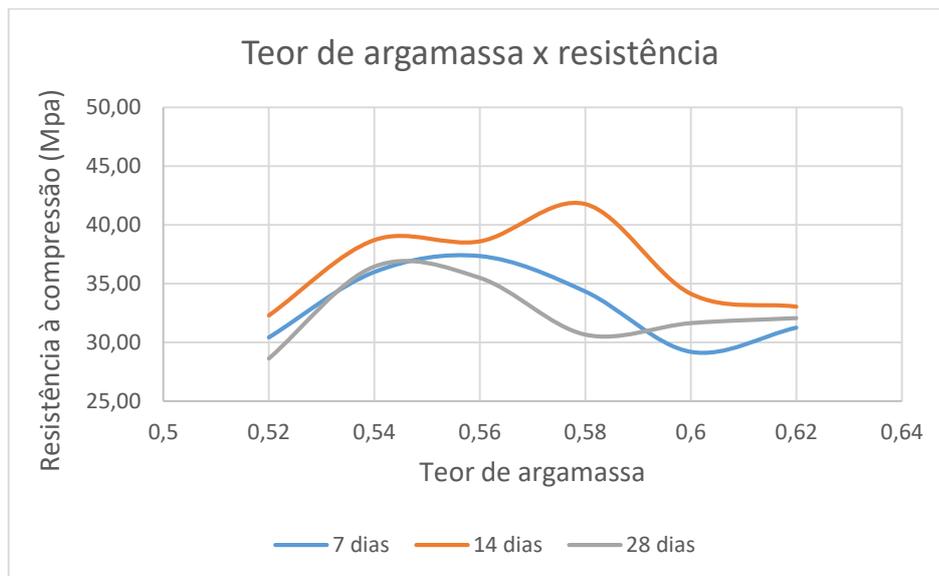
A partir dessas tabelas, consegue-se produzir o Gráfico 4 e o Gráfico 5, comparativos de teor de argamassa *versus* resistência à compressão para cada abatimento.

Gráfico 4 – Teor de argamassa versus resistência à compressão para traço com abatimento $5 \pm 1 \text{ cm}$



Fonte: do Autor (2018)

Gráfico 5 - Teor de argamassa versus resistência à compressão para traço com abatimento $7 \pm 1 \text{ cm}$

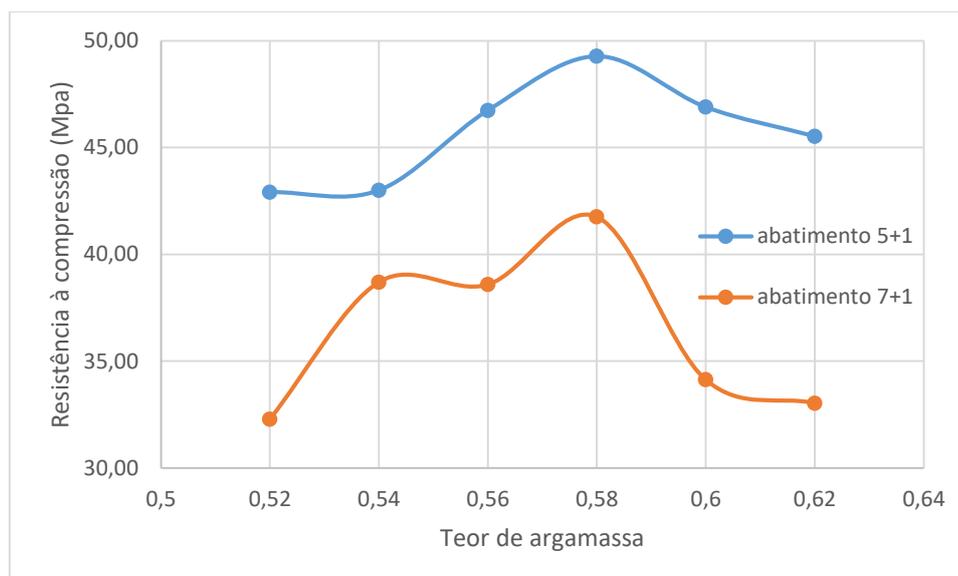


Fonte: do Autor (2018)

Observa-se o fator água/cimento dos traços com diferentes abatimentos. O traço rico 1, que apresenta teor de argamassa 0,52, tem resistência de 40,87 MPa aos 7 dias para abatimento de $5 \pm 1 \text{ cm}$, enquanto que o mesmo traço com mesma idade, apresenta uma resistência Mpa 30,43 para abatimento de $7 \pm 1 \text{ cm}$. A água reduziu consideravelmente a resistência do concreto.

Por fim, tem-se os maiores valores de resistência à compressão no Gráfico 6 para os abatimentos estudados. Observa-se que com o aumento gradativo do teor de argamassa, o concreto apresenta um ganho de resistência, porém o comportamento não é perfeitamente parabólico como demonstrado na literatura. Encontrou-se o teor de argamassa ideal igual a 0,58 para a maior resistência encontrada dos abatimentos.

Gráfico 6 - Maiores valores de resistência à compressão para abatimentos de 5 ± 1 cm e 7 ± 1 cm



Fonte: do Autor (2018)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusão

É possível se fazer algumas considerações acerca do conteúdo discutido neste trabalho, da metodologia adotada e dos resultados obtidos.

Devido à quantidade de material disponível para a execução dos traços, o número de corpos de prova produzidos foi reduzido, interferindo diretamente no controle. Ainda, o volume produzido por cada traço foi insuficiente, pois segundo a norma NBR NM 33/1998, cada amostra deve ter no mínimo 30 L.

O concreto no seu estado plástico mostrou um ótimo comportamento, sua trabalhabilidade foi ótima e com um consumo de cimento adequado. Somente nos traços iniciais, em que o teor de argamassa era menor, houve um pouco de bloqueio de agregados. O teor de água/cimento apresentou-se coerente para os valores de abatimento e gerou um concreto com pouca porosidade quando analisado visualmente.

Em contrapartida, as características do concreto endurecido não puderam ser definidas devido à alta variabilidade dos resultados ao demonstrar comportamento diferente do proposto pela literatura. Além disso, o neoprene comprometeu os resultados do concreto de abatimento 7 ± 1 cm com 28 dias devido ao seu desgaste, gerando resultados incoerentes de resistência à compressão.

De modo geral, os materiais da região metropolitana de João Pessoa demonstraram um bom desempenho quando incrementados ao concreto. Ainda, o método proposto por Helene e Terzian (1993) demonstrou ser racional e econômico.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

Para trabalhos futuros, sugerem-se algumas ideias:

- a) Aumentar o volume de concreto produzido para cada traço estudado. Pois, aumentando a quantidade produzida, consegue-se resultados com um desvio padrão menor, melhorando a análise comportamental da mistura;
- b) Dosar concretos a partir do mesmo método proposto por Helene e Terzian (1993) para diferentes tipos de cimento. A dosagem com um único tipo impossibilita a otimização

para concretos com resistência mais baixa, visto que, a partir de certo ponto, o concreto está sendo subutilizado;

- c) Analisar a influência dos agregados pelo método de Helene e Terzian (1993) em comparação com outros métodos de dosagem. Pois, os agregados apresentam grande importância na dosagem e o método proposto não aprofunda suficientemente essa influência.

REFERÊNCIAS

- ALVES, M. F. **Estudo comparativo de métodos de dosagem para concreto de alta resistência**. 2000. 140p. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós-Graduação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. **Uma breve história do cimento Portland**. Disponível em: < <https://www.abcp.org.br/cms/basico-sobre-cimento/historia/uma-breve-historia-do-cimento-portland/> > Acesso em 8 out. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **5738: Concreto-Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, p.12. 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **5739: Concreto-Ensaio de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, p.13. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **6118: Projetos de estruturas de concreto-Procedimentos**. Rio de Janeiro, p. 256. 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6467: Agregados - Determinação do inchamento de agregado miúdo - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, p. 5. 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação**. Rio de Janeiro, p.9. 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697: Cimento Portland - Requisitos**. Rio de Janeiro, p.12. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, p.6. 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 53: Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro, p.8. 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, p.8. 1998.
- ASSUNÇÃO, J. W. **Curvas de dosagem para concretos convencionais e aditivados confeccionados com materiais da região do nordeste do Paraná**. 2002. 234p. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós-Graduação em Engenharia. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.
- BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de construção**. 5. ed. Revisada. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 417 p. Volume 1.
- BARBOZA, M. R.; BASTOS P. S. **Traços de concreto para obras de pequeno porte**. São Paulo, 2008.
- CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações: fundamentos**. Rio de Janeiro: LTC, 1988.

COUTO, J. A. S. et al. **O concreto como material de construção**. 2013. 58p. Graduação. Cadernos de Graduação do curso de Engenharia Civil. Universidade Tiradentes, Sergipe, 2013

FREIRE, K. R. R. **Avaliação do desempenho de inibidores de corrosão em armaduras de concreto**. 2005. 192p. Dissertação (Mestrado) . Curso de Pós-Graduação em Engenharia. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

HELENE, Paulo; TERZIAN, Paulo. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: Pini, 1993.

NEVILLE, A. M.; BROOKS J. J. **Tecnologia do concreto**. 2. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2010. 441 p.

QUIROGA, P.N.; FOWLER, D.W. *The Effects Of Aggregates Characteristics On The Performance Of Portland Cement Concrete*. RESEARCH REPORTICAR – 104 – 1F – The University of Texas at Austin, Austin, 2003

STOCCO, J. L. **Influência da granulometria e da forma de agregados graúdos de britagem para uso em concretos dosados em central**. 2013. 212p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

APÊNDICE A – RESULTADOS DO ENSAIO GRANULOMÉTRICO

A Tabela 18 e a Tabela 19 apresentadas abaixo, demonstram os resultados dos ensaios de granulometria para o agregado miúdo e o graúdo, respectivamente.

Tabela 18 - Ensaio granulométrico da areia

Peneiras (mm)	Peso acumulado retido (g)	Porcentagem retida acumulada (%)
9,5	0	0,00
6,3	4,1	0,41
4,75	12,8	1,28
2,36	58,8	5,88
1,16	179,2	17,92
0,6	409,9	41,00
0,3	741,1	74,12
0,15	963,8	96,40
Resíduo	999,8	100,00

Fonte: do Autor (2018)

Tabela 19 - Ensaio de granulométrico da brita

Peneiras (mm)	Peso acumulado retido (g)	Porcentagem retida acumulada (%)
75	0,0	0,0
63	0,0	0,0
50	0,0	0,0
37,5	0,0	0,0
31,5	0,0	0,0
25	0,0	0,0
19	259,5	17,3
12,5	1384,6	92,3
9,5	1495,8	99,8
6,3	1497,4	99,9
4,75	1497,4	99,9
2,36	1497,4	99,9
Resíduo	1499,5	100,0

Fonte: do Autor (2018)

Ainda, obtêm-se então os resultados da Tabela 20 , os valores de d_{60} , d_{30} , d_{10} para a areia e para a brita gerando os coeficientes de não uniformidade e o coeficiente de curvatura na Tabela 20.

Tabela 20 - Diâmetro correspondente ao material passante dos agregados miúdo e graúdo

Diâmetro correspondente ao material passante em mm	Agregado miúdo	Agregado graúdo
d_{60}	1,18	19
d_{30}	0,6	19
d_{10}	0,3	19

Fonte: do Autor (2018)

$$C_{nu} = \frac{d_{60}}{d_{ef}}$$

$$C_c = \frac{(d_{30})^2}{d_{60} \times d_{10}}$$

Além disso, obtêm-se o valor do diâmetro máximo pelo valor da porcentagem retida acumulada que seja menor ou igual a 5%, e o valor do módulo de finura dos agregados através da fórmula (1) apresentada no tópico 2.1.2.1. A Tabela 21 apresenta os resultados obtidos.

$$M_f = \frac{\Sigma \% \text{ retida acumulada}}{100} \quad (1)$$

Tabela 21 – Resultados da granulometria

Ensaio	Agregado miúdo	Agregado graúdo
Diâmetro máximo (mm)	4,75	19
Módulo de finura	2,37	4,17
Coefficiente de não uniformidade	3,93	1
Coefficiente de curvatura	1,02	1

Fonte: do Autor (2018)

ANEXO A

Tabela 22 - Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,16 mm	5	20	30	50
0,6 mm	15	35	55	70
0,3 mm	50	65	85	95
0,15 mm	85	90	95	100

NOTAS

1 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90.

2 O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20.

3 O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50.

Fonte: NBR 7211/2009

Tabela 23 - Limites da distribuição granulométrica do agregado graúdo

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

NOTAS

1) Zona granulométrica correspondente à menor (d) e à maior (D) dimensões do agregado graúdo.

2) Em cada zona granulométrica deve ser aceita uma variação de no máximo cinco unidades percentuais em apenas um dos limites marcados com 2). Essa variação pode também estar distribuída em vários desses limites.

Fonte: NBR 7211/2009