



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE ANGICOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

VALDEIR TAVARES DA SILVA

**ESTUDO DA SUBSTITUIÇÃO DA AREIA NATURAL POR PÓ DE PEDRA NA
PRODUÇÃO DE CONCRETO CONVENCIONAL**

ANGICOS/RN

2018

VALDEIR TAVARES DA SILVA

**ESTUDO DA SUBSTITUIÇÃO DA AREIA NATURAL POR PÓ DE PEDRA NA
PRODUÇÃO DE CONCRETO CONVENCIONAL**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, ao Departamento de Engenharias, para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Marcilene Vieira da Nóbrega,
Prof.^a Dr.^a

ANGICOS

2018

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

S586e Silva, Valdeir Tavares da Silva.
Estudo da substituição da areia natural por pó
de pedra na produção de concreto convencional /
Valdeir Tavares da Silva Silva. - 2018.
62 f. : il.

Orientador: Marcilene Vieira da Nóbrega Nóbrega.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2018.

1. Construção civil. 2. Resíduo. 3. Britagem. I.
Nóbrega, Marcilene Vieira da Nóbrega, orient. II.
Título.

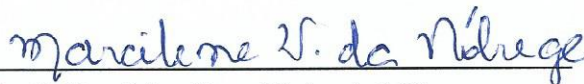
VALDEIR TAVARES DA SILVA

**ESTUDO DA SUBSTITUIÇÃO DA AREIA NATURAL POR PÓ DE PEDRA NA
PRODUÇÃO DE CONCRETO CONVENCIONAL**

Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA,
Campus Angicos, para obtenção do título de
Engenheiro Civil.

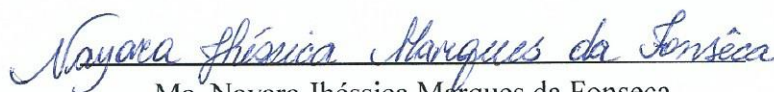
APROVADA EM 12/09/2018

BANCA EXAMINADORA



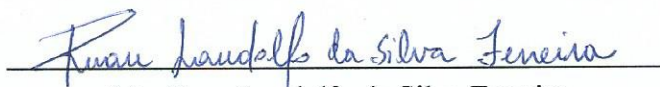
Profª. Dra. Marcilene Vieira da Nóbrega

Presidente



Ma. Nayara Jhébica Marques da Fonseca

1º Membro



Me. Ruan Landolfo da Silva Ferreira

2º Membro

ANGICOS/RN

2018

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer, primeiramente a Deus, que me deu forças para chegar ao fim de mais uma jornada com saúde, vencendo uma série de obstáculos, pois sem ele nada seria possível.

À minha orientadora, professora Dra. Marcilene Vieira da Nóbrega, pela orientação, pela amizade, pelos conselhos, incentivos e disponibilidade permanente para me atender durante a realização deste trabalho, contribuindo de forma significativa para sua concretização.

Aos meus professores e funcionários da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, pelos ensinamentos e apoios recebidos quando solicitados.

À Pedreira Itajá, na pessoa de seu proprietário Aryel, por permitir a coleta das amostras do resíduo e contribuindo com todas as informações que possibilitaram a concretização deste trabalho.

A todos os meus amigos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho. Em especial a Francisco Tomaz de Figueredo (Neto), que sempre esteve disponível para me ajudar quando necessitei de sua ajuda.

À laboratorista Ádna Érica Melo de Sousa, do laboratório de Materiais de Construção (LMC) da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, campus Angicos, pelo apoio na realização de todos os ensaios aqui realizados.

Ao técnico do laboratório de Construção Civil do Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN), campus Mossoró, Valteson da Silva Santos, que me ajudou na realização dos ensaios necessários ao desenvolvimento do meu trabalho, por toda a disponibilidade e ajuda prestada sem medir esforços.

Aos meus colegas de sala, Batistinha, Ádna, Bárbara, Renan, pelo apoio e conselhos importantes em momentos difíceis.

Muito obrigado a todos!

O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.

José de Alencar

RESUMO

Atualmente, a construção civil é o setor responsável por um consumo considerável de diversos recursos naturais. E a areia natural é um exemplo destes recursos não renováveis, e no Brasil, a sua extração se dar a partir dos leitos dos rios, ocasionando uma série de problemas ambientais. Diante deste cenário e a crescente preocupação com a proteção do meio ambiente, é necessário buscar alternativa que forneçam substitutos parciais ou totais para esses recursos naturais, minimizando, dessa forma os impactos causados pela sua extração. Considerando essas questões, propõe-se um estudo sobre a produção de concretos de cimento Portland, com a substituição total da areia natural por uma areia artificial (pó de pedra), proveniente do processo de britagem, sem nenhuma destinação final na construção civil, permanecendo estocados nos pátios das pedreiras, formando enormes montes, provocando vários impactos ambientais. A presente pesquisa analisou a substituição total da areia natural por pó de pedra na produção de concreto convencional. Para o desenvolvimento deste trabalho foram realizados ensaios de caracterização granulométrica nos materiais, areia natural, pó de pedra e pó de pedra modificado que compuseram os concretos estudado, analisando o seu comportamento nos ensaios de abatimento do tronco de cone (*Slump Test*), a partir de uma relação água/cimento pré-estabelecida. Após essa fase, foram confeccionados corpos de prova cilíndricos de concreto, utilizando-se 3 traços diferentes, um de referência composto de areia natural (AN), um com areia artificial de pó de pedra (APP) e outro com areia artificial de pó de pedra modificado (APPM), para uma resistência a compressão axial de 20 MPa aos 28 dias. Os corpos de prova foram curados e submetidos ao ensaio de resistência à compressão. Os resultados obtidos comprovam uma maior quantidade de finos no pó de pedra e a presença de muito material grosso na sua composição granulométrica, principalmente na peneira 1,18mm, sendo necessário a composição de um novo pó de pedra (PPM) em que sua curva granulométrica ficasse dentro dos limites utilizáveis estabelecidos pela norma NBR 7211 (2009). Quanto a resistência à compressão axial, todos os concretos produzidos, apresentaram valores muito próximos, ficando sua resistência abaixo do esperado (20 MPa). Diante destes resultados é viável a substituição da areia natural por pó de pedra, mas sem fins estruturais.

Palavras-chaves: Construção Civil, Resíduo, Britagem.

ABSTRACT

Currently, construction is the sector responsible for a considerable consumption of diverse natural resources. And the natural sand is an example of these nonrenewable resources, and in Brazil, its extraction takes place from the beds of the rivers, causing a series of environmental problems. Given this scenario and the growing concern with environmental protection, it is necessary to seek alternatives that provide partial or total substitutes for these natural resources, thus minimizing the impacts caused by their extraction. Considering these issues, we propose a study on the production of Portland cement concrete with the total replacement of natural sand by artificial sand (stone dust) from the crushing process, with no final destination in construction, remaining stored in the patios of the quarries, forming huge hills, causing several environmental impacts. The present research analyzed the total replacement of natural sand by stone powder in the production of conventional concrete. To carry out this work granulometric characterization tests were conducted on materials, natural sand, stone powder and modified stone powder that comprised the study concrete, analyzing their behavior in the frustum of the abatement tests (Slump Test), from of a pre-established water / cement ratio. After this phase, cylindrical specimens of concrete were made, using 3 different traces, one reference composed of natural sand (AN), one with artificial sand of stone powder (APP) and the other with artificial sand of powder of modified stone (APPM), for an axial compression strength of 20 MPa at 28 days. The specimens were cured and subjected to the compressive strength test. The results show a greater amount of fine stone powder and in the presence of very thick material in its particle size distribution, especially in the sieve 1,18mm, where necessary the composition of a new stone powder (PPM) wherein a particle size curve within the usable limits established by standard NBR 7211 (2009). As for the axial compressive strength, all concrete produced values were very close, with their resistance being lower than expected (20 MPa). In view of these results it is feasible to replace natural sand with stone powder, but without structural purposes.

Key-words: Civil Construction, Waste, Crushing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Concreto convencional.....	16
Figura 2 – Diferentes tipos de agregados miúdos	22
Figura 3 – Diferentes tipos de agregados graúdos.....	23
Figura 4 – Resíduo do pó de pedra estacado em pedreiras.....	28
Figura 5 – Sequência de passos para realizar o ensaio <i>Slump Test</i>	35
Figura 6 – Resíduo do pó de pedra estocado na Pedreira Itajá.....	39
Figura 7 – Misturador basculante – betoneira	40
Figura 8 – Corpos de prova em cura úmida	41
Figura 9 – Conjunto de peneiras no agitador mecânico	42
Figura 10 – Frações dos agregados após realização do ensaio de peneiramento	43
Figura 11 – Equipamentos utilizados para a realização do <i>Slump Test</i>	44
Figura 12 – <i>Slump Test</i> apoiado com os pés pelo operador para retirada do molde	45
Figura 13 – Medida do abatimento com auxílio da haste e uma régua milimetrada.....	46
Figura 14 – Corpos de prova do concreto aos 28 dias.....	47
Figura 15 – Retificação dos corpos de prova	48
Figura 16 – Máquina rompendo os corpos de prova	48

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 – Conjunto de peneiras	20
Tabela 2 – nomenclatura comercial adotada pela ABNT para agregados graúdos	23
Tabela 3 – Consumo dos componentes e o traço do concreto pelo método ABCP.....	40
Tabela 4 – Composição granulométrica da areia natural	49
Tabela 5 – Composição granulométrica do pó de pedra	50
Tabela 6 – Composição granulométrica do pó de pedra modificado	51
Tabela 7 – Abatimento dos concretos após ensaio	53
Tabela 8 – Resistência à compressão dos corpos de prova de concreto.....	54
Quadro 1 – Composição dos Cimentos Portland.....	18

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Consumo de agregados no mundo.....	33
Gráfico 2 – Curva granulométrica da areia natural	50
Gráfico 3 – Curva granulométrica do pó de pedra	51
Gráfico 4 – Curva granulométrica do pó de pedra modificado	52
Gráfico 5 – Resistência à compressão axial	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação Brasileira das Normas Técnicas

AN – Traço com areia natural

ANEPAC – Associação Nacional de Entidades Produtoras de Agregados para Construção Civil

ASTM – American society for Testing and Materials

a/c – Relação água/cimento

CP – Cimento Portland

C.P – Corpos de prova

Fck – Resistência Característica do Concreto à Compressão

MPa – Mega Pascal

MF – Módulo de Finura

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

PP – traço com pó de pedra

PPM – traço com pó de pedra modificado

μm – Micrometro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.2 OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS	15
1.2.1 Objetivo geral.....	15
1.2.2 Objetivos específicos.....	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	16
2.2 CONCRETO.....	17
2.3 MATERIAIS CONSTITUINTES DO CONCRETO	17
2.3.1 Cimento Portland	17
2.3.2 Agregados.....	19
2.3.3 Água	24
2.3.4 Aditivo e adições	24
2.4 PRODUÇÃO DO CONCRETO.....	25
2.5 PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO	26
2.5.1 Trabalhabilidade	27
2.5.2 Perda de abatimento.....	27
2.5.3 Segregação e exsudação	28
2.6 PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO	29
2.6.1 Resistência mecânica	29
2.6.2 Permeabilidade	30
2.6.3 Durabilidade	31
2.7 RESÍDUO DE PÓ DE PEDRA	31
2.7.1 Origens do resíduo.....	31
2.7.2 Aplicações em materiais de construção	32
2.7.3 Aplicações do resíduo em concreto como agregado miúdo	33
2.7.4 Pesquisas sobre o melhoramento do resíduo do pó de pedra para a produção de concretos e argamassas.	35
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	38
3.1 MATÉRIAS PRIMAS.....	38
3.1.1 Cimento Portland	38
3.1.2 Agregado graúdo	38
3.1.3 Agregado miúdo (areia natural).....	38
3.1.4 Resíduo do pó de pedra	39

3.1.5 Água de amassamento	39
3.2 PRODUÇÃO DOS CONCRETOS	39
3.3 ENSAIOS REALIZADOS.....	41
3.3.1 Caracterização dos agregados miúdos.....	41
3.3.2 Determinação da consistência (<i>Slump Test</i>)	43
3.3.3 Ensaio de resistência mecânica à compressão simples	46
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS MIÚDOS	49
4.1.1 Areia natural (AN).....	49
4.1.2 Areia artificial de pó de pedra (PP)	50
4.2 CONCRETO NO ESTADO FRESCO	52
4.3 CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO	53
4.3.1 Resistência à compressão axial.....	53
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	56
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

1 INTRODUÇÃO

Historicamente o concreto é o material de construção civil mais utilizado no planeta. Comumente composto por uma mistura de cimento Portland, agregado miúdo, agregado graúdo e água, que lhe confere propriedades importantes tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. Segundo a (ANEPAC, 2015), o consumo de brasileiro de agregados em 2014 atingiu cerca de 741 milhões de toneladas, sendo 3,7 toneladas destes agregados destinados à construção. Este consumo se deu devido os fatores e incentivos governamentais responsáveis pelo crescimento da construção civil nos últimos anos (ABCP, 2013). Não há material mais consumido pelo homem em tamanha quantidade, com exceção da água (MEHTA; MONTERIO, 2008). Na produção do concreto são usadas matérias primas, entre as quais os agregados graúdos e miúdos que, em massa ou em volume, compõe a maior parte dos constituintes do concreto e, são recursos minerais não renováveis.

O setor da construção civil é um dos maiores consumidores de recursos naturais, cerca de 75% desses recursos produzidos no planeta são consumidos em obras de construção civil (PINTO, 1999). Dentre os produtos produzidos em atividades mineradoras os mais utilizados na construção civil são o cimento e os agregados. No entanto, estes agregados possuem uma grande importância por proporcionar uma melhora nas propriedades do concreto, sendo a areia natural um dos mais utilizado.

Diante do aumento constante da demanda de areia natural no mercado e a grande preocupação com a preservação do meio ambiente, a extração da areia natural está sendo cada vez mais controlada pelos órgãos responsáveis pela fiscalização do meio ambiente. Como a areia natural é obtida, principalmente, através da extração em leitos dos rios, as licenças para exploração deste material tem sido suspensa, tornando a areia natural um material mais caro e escasso no mercado da construção civil (SILVA *et.al.*, 2005; AMEIDA; SILVA, 2005).

De acordo com SJOSTROM (1992, *apud* JOHN, 2000), a construção civil consome entre 14% a 15% dos recursos naturais que são extraídos da terra. Diante deste quadro e a crescente preocupação com a proteção ambiental, pesquisas buscam alternativas com a finalidade de substituir total ou parcialmente a areia natural por um material alternativo. Uma das alternativas é a utilização do resíduo da britagem de rochas (pó de pedra) substituindo, pelo menos parcialmente, o agregado miúdo na confecção do concreto convencional.

A utilização desses resíduos pode trazer benefícios para o meio ambiente, bem como para as empresas produtoras, uma vez que o material retirado das jazidas passa a ser

reaproveitado, reduzindo consideravelmente as perdas do processo de britagem e fornecendo uma alternativa de um novo material para o mercado da construção civil.

Ainda segundo Almeida (2005), cerca de 90% da areia consumida é extraída dos leitos dos rios, sendo esta atividade responsável pela degradação das matas ciliares e assoreamento dos cursos d'água. Devido este fato, surge a necessidade e importância de se realizar um estudo sobre a reutilização desses resíduos (pó de pedra) que são gerados no processo da produção da britagem de rochas e que são depositados na natureza na produção de concreto, para que se possa diminuir o uso da areia natural e reduzir os impactos causados ao meio ambiente.

Diante do exposto, neste trabalho apresentam-se resultados relativos a produção de concretos convencionais que tiveram, como agregados miúdos, areia natural (AN), pó de pedra (PP) e pó de pedra modificado (PPM). Com o intuito de se verificar a possibilidade de substituir a AN pelo PP “in natura, exatamente como se encontra nos pátios das pedreiras”, ou se é necessário realizar algum beneficiamento para sua utilização na substituição da areia natural na produção de concretos convencionais.

1.1 JUSTIFICATIVA

Atualmente a atividade da extração da matéria prima para a fabricação dos diversos tipos de brita, é por natureza causadora de impactos ambientais, tais como a degradação ambiental, redução da mata ciliar, poluição visual e remoção da cobertura de solo. No que diz respeito a poluição visual, o pó de pedra provoca impacto quando ficam estocados nos pátios das instalações de britagem de rochas sem nenhuma utilização.

Diante dos problemas expostos, observa-se a degradação ambiental causada pela extração descontrolada desses materiais, ficando evidente a necessidade de busca por alternativas de utilização desses resíduos gerados. No entanto, surge a necessidade de realizar-se um trabalho sobre o estudo da viabilidade de uso de um material alternativo proveniente dos resíduos da produção da britagem de rochas em concreto convencional, para a substituição total da areia natural proveniente dos leitos dos rios, por uma areia artificial (pó de pedra).

Esses resíduos das pedreiras no processo da fabricação dos diversos tipos de brita, são importantes, tanto para a construção civil quanto para o meio ambiente, pois além da aplicação de uma nova tecnologia e da reutilização desses resíduos da britagem como agregado miúdo ao concreto, irá reduzir o consumo da areia natural, reduzindo o impacto ao meio ambiente.

1.2 OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS

1.2.1 Objetivo geral

Estudar e avaliar as propriedades no estado fresco e endurecido do concreto de cimento Portland produzido a partir da substituição total da areia natural por resíduo de pó de pedra (areia artificial) na produção de concreto convencional.

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar a caracterização da areia natural e do pó de pedra que serão utilizados na confecção dos corpos de prova através do ensaio de determinação da composição granulométrica de acordo com a norma NBR NM 248 (2003);
- Avaliar o comportamento mecânico do concreto, em especial à compressão axial aos 28 do concreto com substituição da areia natural pelo pó de pedra;
- Avaliar as propriedades físicas do pó de pedra (natural e modificado) e comparar com a areia natural, em termos de composição granulométrica;
- Avaliar os efeitos da substituição da areia natural pelo pó de pedra na consistência e na resistência à compressão dos concretos;
- Analisar se é viável tecnicamente a utilização de pó de pedra como substituo da areia natural na produção de concreto convencional.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Atualmente, o concreto tem sido considerado o material de construção mais utilizado desde a segunda metade do século XX e o segundo material mais consumido pelo homem, ficando apenas atrás da água (HELENE; ANDRADE, 2007). Seu consumo anual está estimado em 11 bilhões de toneladas de concreto, sendo considerado o material de construção civil mais utilizado devido suas propriedades e características que possibilitam obter formas construtivas inusitadas em obras arquitetônicas (CONCRETO E CONSTRUÇÕES, 2009). Na Figura 1, apresenta-se o material comumente conhecido como concreto convencional.

Figura 1 – Concreto convencional



Fonte: (SANTOS, 2014, p. 1)

A história do concreto é fruto do trabalho de inúmeros homens, que durante muitos anos observaram a natureza e se esmeraram por aperfeiçoar técnicas, teorias e formas estruturais. Desta forma a história do concreto não começou no século passado, mas com a própria civilização humana diante da necessidade básica de morar melhor, desenvolvendo novas tecnologias para este fim (KAEFER, 1998).

De forma sucinta, é possível afirmar que o concreto pode ser considerado uma pedra artificial que se molda a criatividade construtiva do homem. Sendo assim, pode-se desenvolver um material que após seu endurecimento, apresenta resistência similar às das rochas naturais e,

que durante seu estado fresco, apresenta forma plástica que possibilita sua moldagem nas diversas formas e tamanhos (CONCRETO E CONSTRUÇÕES, 2009).

2.2 CONCRETO

O concreto é composto basicamente por uma mistura de cimento Portland, agregados (miúdo e graúdo) e água. Suas propriedades tanto no estado fresco como no estado endurecido, estão diretamente influenciadas pelas características desses materiais.

De acordo com Bauer (1987), o concreto de cimento Portland, considerado como um sólido, a partir de sua pega, é um material que permanece em constante evolução. Sendo que, ao longo do tempo o concreto tem se mostrado sensível as modificações ambientais, físicas, químicas e mecânicas, com reações geralmente lentas, que alteram suas características.

Segundo a ASTM (American Society for Testing and Materials), o concreto é um material compósito que consiste de um aglomerante no qual estão aglutinadas partículas de diferentes naturezas: o aglomerante é o cimento em presença de água; o agregado é qualquer material granular, como areia, pedregulho, seixos, rocha britada, escória de alto forno e resíduos de construção e de demolição. Se as partículas do agregado são maiores que 4,75 mm, o agregado é considerado graúdo; caso contrário, o agregado será considerado miúdo. Podendo em sua composição conter aditivos e adições de substâncias químicas que alteram algumas propriedades adequando-as às necessidades construtivas citado por (MEHTA; MOTEIRO, p. 10, 2008).

2.3 MATERIAIS CONSTITUINTES DO CONCRETO

2.3.1 Cimento Portland

A NBR 16697 (2018), define cimento Portland como aglomerante hidráulico obtido através da moagem de clínquer, que no decorrer da operação adiciona-se uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Sendo permitido no processo de moagem adicionar a esta mistura materiais pozzolânicos, escórias de alto forno e/ou materiais carbonáticos, em quantidades especificadas.

De acordo com a ABCP (2002), o cimento Portland é considerado um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que sob a ação da água, torna-se primeiramente uma pasta, e em seguida possui capacidade de endurecimento, adquirindo uma

boa resistência e durabilidade. Quando misturado com outros materiais de construção como: areia, brita, pó de pedra, a cal e outros, resulta em uma pedra artificial, denominada concreto.

Para a obtenção do cimento a matéria-prima é moída e misturada sendo então aquecida a uma temperatura aproximada de 1450 °C. Esse processo faz com que se formem partículas arredondadas conhecidas como clínquer que é seu principal componente, que tem como matéria-prima o calcário e a argila. Este componente reage quimicamente com a água, primeiramente tornando-se pastoso e em seguida endurecendo, adquirindo alta resistência e durabilidade. As adições como o gesso, as escórias de alto-forno, os materiais pozzolânicos e os materiais carbonáticos, que misturados ao clínquer na fase de moagem permitem a fabricação dos diversos tipos de cimento Portland (NEVILLE, 1997).

O mercado nacional possui uma grande versatilidade do cimento Portland, que atendem com igual desempenho aos mais variados tipos de obras. No Quadro 1 são apresentados a composição dos cimentos Portland utilizados no mercado brasileiro.

Quadro 1 – Composição dos cimentos Portland

Cimento Portland (ABNT)	Tipo	Clinker + Sulfato de cálcio (%)	Escória de alto-forno (%)	Material Pozolânico (%)	Material Carbonático (%)
CP I	Comum	95 – 100	0 – 5		
CP I-S	Comum	90 – 94	0	0	6 – 10
CP II-F	Composto	75 – 89	0	0	11 - 25
CP II-E	Composto	51 – 94	6 – 34	0	0 – 15
CP II-Z	Composto	71 – 94	0	6 – 14	0 - 15
CP III	Alto-forno	25 – 65	35 – 75	0	0 – 10
CP IV	Pozolânico	45 – 85	0	15 – 50	0 – 10
CP V	Alta resistência inicial	90 – 100	0	0	0 – 10

Fonte: NBR 16697:2018.

Os tipos de cimentos Portland são diferenciados de acordo com a proporção de clínquer, e sulfatos de cálcio, material carbonáticos e adições, como pozolana, escórias e calcário, adicionadas no processo de moagem, com a finalidade de melhorar algumas características do concreto, contribuindo com a preservação do meio ambiente quando se reaproveitam resíduos, diminuindo-se consequentemente a extração de matéria-prima natural (ABCP, 2002).

2.3.2 Agregados

Segundo a NBR 9935 (2011), agregado é um material granular, geralmente inerte, com dimensões e propriedades adequadas para a preparação de argamassa ou concreto. Conforme Pimenta (2012), os agregados podem ser classificados da seguinte maneira: como agregados naturais aqueles que são extraídos na forma de fragmentos da natureza, como areia e pedregulho. E artificiais aqueles obtidos pela ação do homem, que passam por processos industriais ou do rejeito destes, como areia britada e pedra; quanto a densidade, estes podem ser classificados como agregados leves, pesados e normais.

A terminologia dos agregados é definida de acordo com a norma da NBR 9935 (2011), que classificam os agregados quanto à natureza. Esta norma define os termos relativos aos agregados mais comumente empregados em concreto e argamassa de cimento:

- Agregado natural: material pétreo granular que pode ser utilizado tal e qual encontrado na natureza, podendo ser submetido à lavagem, classificação ou britagem.
- Agregado artificial: material granular resultante de processo industrial envolvendo alteração mineralógica, química ou físico-química da matéria-prima original, para uso como agregado em concreto ou argamassa.
- Agregado reciclado: material granular obtido de processos de reciclagem de rejeitos ou subprodutos da produção industrial, mineração ou construção ou demolição da construção civil, incluindo agregados recuperados de concreto fresco por lavagem, para uso como agregado.
- Agregado especial: material granular cujas propriedades podem conferir ao concreto ou argamassa um desempenho que permita ou auxilie no atendimento de solicitações específicas em aplicações não usuais.
- Areias: agregado miúdo originado através de processos naturais ou artificiais de desintegração de rochas, ou proveniente de processos industriais. É chamada de areia natural se resultante de ação de agentes da natureza, de areia artificial quando proveniente de processos industriais; de areia reciclada, quando proveniente de processos de reciclagem; e de areia de britagem, quando proveniente do processo de cominuição mecânica de rocha, conforme normas específicas.

De acordo com a NBR 7211 (2009), os agregados podem ser classificados de acordo com as dimensões dos grãos em: agregado miúdo aquele cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na e como agregado graúdo aquele cujo grão passa pela peneira de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com malha de 4,75 mm. Na tabela 1 pode-se observar as peneiras da série normal que são utilizadas durante o ensaio de análise granulométrica.

Tabela 1 – Conjunto de peneiras (abertura nominal)

Série Normal	Série Intermediária
75 mm	-
-	63 mm
-	50 mm
37,5 mm	-
-	31,5 mm
-	25 mm
19 mm	-
-	12,25 mm
9,5 mm	-
-	6,3 mm
4,75 mm	-
2,36 mm	-
1,18 mm	-
600 μ m	-
300 μ m	-
150 μ m	-

Fonte: Adaptado da NBR 7211 (2009).

A NBR 7211(2009), cita ainda que os agregados devem ser constituídos por grãos de minerais duros, compactos, duráveis e limpos. Não podendo apresentar substâncias de qualquer natureza que em determinadas quantidades comprometam a hidratação e endurecimento do cimento, a durabilidade do concreto, a proteção da armadura contra a corrosão, bem como o aspecto visual externo do concreto.

Segundo Mehta e Monteiro (2008), as características dos agregados graúdos e miúdos afetam principalmente a estabilidade dimensional, resistência, durabilidade e trabalhabilidade dos concretos de cimento Portland. Muitas destas características dependem inteiramente das

propriedades da rocha matriz, como: a composição química e mineralógica, características petrográficas, massa específica, dureza, resistência, estabilidade química e física e estrutura de poros. Por outro lado, existem características que, dependem do tipo de britagem empregado, sendo elas: forma e textura superficial das partículas, absorção, tamanho e composição granulométrica do agregado. Todas estas propriedades influenciam na qualidade e desempenho do concreto, tanto no estado fresco como endurecido.

Bauer (2012), afirma que a composição granulométrica de um agregado é composta por uma mistura de grãos de diferentes tamanhos que constitui o material, sendo os valores são expressos em porcentagem. A composição granulométrica do agregado irá influenciar nas futuras propriedades dos concretos e argamassas que serão produzidos com este agregado.

A qualidade dos agregados influencia diretamente na qualidade do concreto, merecendo uma atenção especial os agregados miúdos, que sofrem com a escassez de reservas localizadas próximas dos grandes centros consumidores. Muitos fatores vêm contribuindo para esta escassez, entre eles os impactos causados ao meio ambiente provenientes desta exploração.

Desta forma a busca, através de meio técnico, de alternativas que venha substituir total o agregado miúdo natural tem aumentado significativamente, na tentativa de solucionar problemas envolvendo a crescente escassez de oferta do agregado miúdo no mercado.

Quanto a consideração da porção de material passante na malha de 0,15mm, não há um consenso como parte do agregado miúdo. Mehta e Monteiro (2008) não consideram o material passante nessa peneira como parte do agregado miúdo. E sim como finos – em argamassas essa fração é indesejada. No geral, os finos são prejudiciais para concretos e argamassas pois aumenta-se a demanda de água.

2.3.2.1 Agregado miúdo

Segundo a NBR 7211 (2009), agregados miúdos são “ agregados cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha 4,75mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha 150 μ m, em ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248, com peneiras definidas pela NBR NM ISO 3310-1”.

Segundo Pimenta (2012), a areia natural, mais especificamente o agregado miúdo, são classificadas comercialmente em três tipos: fina, média e grossa, dependendo do tamanho das partículas com propriedades e características adequadas ao uso na engenharia civil (Figura 2).

Figura 2 – Diferentes tipos de agregado miúdo



Fonte: (CHICO D'AREIA E CAÇAMBAS, 2017, p.1).

De forma geral, as peneiras da série intermediária são utilizadas no ensaio de peneiramento de agregados com a finalidade de avaliar a granulometria e principalmente na classificação da dimensão máxima do mesmo. No entanto as peneiras da série normal devem ser sempre utilizadas nos ensaios, pois os resultados obtidos nessas malhas são utilizados para fins de classificação granulométrica e determinação do módulo de finura, conforme definição a seguir (de acordo com a NBR 7211: 2009):

- **Módulo de finura:** somas das porcentagens retidas acumuladas, relativas à massa de um agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100;
- **Dimensão máxima característica:** corresponde a abertura nominal, em milímetros, da malha da peneira da série normal ou intermediária na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa.

Farias e Palmeira (2007), afirmam que a representação gráfica da curva granulométrica é a forma mais fácil de avaliar a composição de um agregado, pois consegue-se observar se a curva granulométrica se enquadra em uma especificação, se é muito grossa ou fina, ou ainda se é deficiente em um determinado tamanho.

2.3.2.2 Agregados graúdo

O agregado graúdo também pode ser natural ou artificial. Agregado graúdo natural (pedregulho) podendo ser também obtido em rios ou jazidas secas, sendo pouco utilizado

atualmente. Agregado graúdo artificial é obtido através da britagem de rochas (DUARTE, 2013).

A NBR 7211(2009) classifica os agregados graúdos para concreto em cinco faixas granulométricas conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Nomenclatura comercial e adotada pela ABNT para os agregados graúdos

Comercial	NBR 7211(2009)
Brita 0	4,75/12,50
Brita 1	9,50/25,00
Brita 2	19,00/31,50
Brita 3	25,00/50,00
Brita 4	37,50/75,00

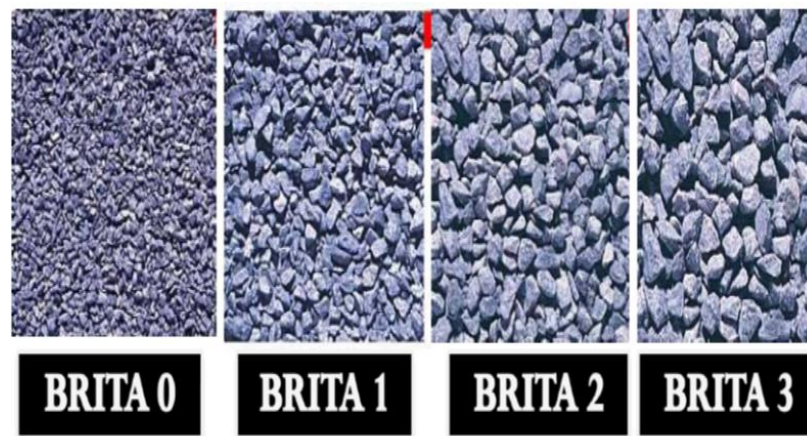
Fonte: Próprio autor

Segundo Bauer (2012), o processo de britagem consiste basicamente na submissão de rochas, proveniente de uma jazida, a fragmentação em tamanhos adequados para utilização como agregado na construção civil. Segundo o DNPM (2000) o uso de brita é distribuído no Brasil com 50% destinados a produção de concreto de cimento Portland, 30% para concretos betuminosos, 13% para artefatos de cimento pré-moldados e 7% destinados a outros usos.

Os agregados destinados a produção de concreto devem ser limpos, resistentes, com boa distribuição de tamanho de grãos de uma forma equilibrada.

Na Figura 3, pode-se observar os diferentes tipos de agregados graúdos normalmente encontrados no mercado utilizados na construção civil.

Figura 3 – Tipos de britas



Fonte: (DIEGO AUGUSTO, 2016, p. 1).

2.3.3 Água

Segundo a NBR 12655(2006), a água destinada ao amassamento do concreto deve ser armazenada em caixas estanques e tampadas, de modo a evitar a contaminação por substâncias estranhas.

De acordo com Neville (1998), as impurezas contidas na água podem influenciar negativamente, a resistência do concreto, causar manchas em sua superfície, ou ainda, resultar em corrosão das armaduras. Por estas razões, deve-se dar atenção à qualidade da água de amassamento e para a cura do concreto.

De acordo com Silva (1991), no processo de produção do concreto a qualidade da água utilizada deve ser levada em conta, quando se pretende obter um concreto com melhor qualidade. A existência de impurezas na água pode afetar a hidratação do cimento, o tempo de pega, a resistência à compressão, podendo ainda desencadear o surgimento de manifestações patológicas, interferindo na durabilidade do concreto. Afirma ainda que os problemas que surgem nos concretos decorrentes do uso da água estão relacionados com a quantidade e não com sua qualidade.

Segundo Mehta e Monteiro (2008), a adição de água a uma mistura de concreto, para uma determinada quantidade de cimento, melhorará a fluidez do concreto no estado fresco, mas, por outro lado, reduzirá a sua resistência no estado endurecido.

Ainda segundo Mehta e Monteiro (2008), quando a relação agregados/cimento é reduzida, mas a relação água/cimento é mantida constante, o consumo de água aumenta e, em consequência desse aumento, a consistência ficará mais fluida. Por outro lado, se é mantida constante a quantidade de água, e a relação agregados/cimento é reduzida, a relação água/cimento diminui e a consistência pode não ser afetada.

Segundo Almeida (2002), o teor de água do concreto no estado fresco é definido pela relação água/cimento, ou seja, pela relação em massa água/cimento. Relacionando-se diretamente com a resistência e a trabalhabilidade do concreto, quanto menor o teor de água, maior será sua resistência e menor a trabalhabilidade.

2.3.4 Aditivo e adições

São substâncias químicas adicionadas na composição do concreto com a finalidade de melhorar a trabalhabilidade, acelerar ou retardar o tempo de pega, controlar o desenvolvimento

da resistência, entre outras. No Brasil somente na década de 1990, os aditivos começaram a ser utilizados de forma intensiva.

A NBR 11768 (2011), define como qualquer produto adicionado durante a preparação do concreto, em quantidade maior que 5% da massa de material cimentício contida no concreto com o objetivo de modificar suas propriedades no estado fresco e /ou no estado endurecido, com exceção dos pigmentos inorgânicos para o preparo do concreto. Entre outras e aumentar a durabilidade do concreto em condições específicas de exposição (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Os aditivos são substâncias químicas inseridas ao concreto ainda no processo de mistura, proporcionando algumas alterações em suas propriedades, tornando-as adequadas às necessidades construtivas (CONCRETO E CONSTRUÇÕES, 2009).

A NBR 11768 (2011), classifica os aditivos para concreto de cimento Portland como: plastificantes, acelerador, plastificante retardador, plastificante acelerador, incorporadores de ar, superplastificante retardador e superplastificante acelerador.

Por mais que os aditivos não sejam materiais de baixo custo, sua utilização na produção de concreto nem sempre eleva o custo final do produto, pois podem proporcionar economias como: redução da quantidade de cimento, menor custo de adensamento e aumento na sua vida útil (NEVILLE, 2016).

2.4 PRODUÇÃO DO CONCRETO

Os materiais que serão empregados no preparo do concreto devem ser previamente analisados conforme normas e procedimentos estabelecidos pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). E sua produção se dá a partir dos materiais constituintes, em uma série de etapas de forma a proporcionar ao concreto em seu estado endurecido as características especificadas em projeto. De acordo com a NBR 12655 (2006) que trata do concreto de cimento Portland, preparo controle e recebimento, as etapas de preparo do concreto são as seguintes:

- Caracterização dos materiais componentes do concreto;
- Estudo de dosagem do concreto;
- Ajuste e comprovação do traço do concreto;
- Elaboração do concreto.

A fabricação, também conhecida como traço, refere-se aos procedimentos necessários para se estabelecer uma proporção adequada dos componentes do concreto, de modo a resultar em um material com características previamente estabelecidas. No entanto, dosar um concreto é obter um traço que atenda as condições especificadas em projeto, utilizando corretamente os materiais disponíveis. O traço deve ser medido em peso ou em volume, exprimindo a proporção dos materiais componentes da mistura (PIMENTA, 2012).

Segundo Mehta e Monteiro (2008), um dos objetivos da dosagem dos concretos é se obter um material que atenda certos requisitos pré-determinados. Os principais requisitos que deverão ser atendidos são: a trabalhabilidade no estado fresco e a resistência no estado endurecido em uma idade específica.

A NBR 12655 (2015) aborda que os materiais componentes do concreto devem ser isentos de substâncias prejudiciais em quantidades que possam comprometer a durabilidade do concreto ou causar corrosão da armadura. O controle tecnológico dos materiais componentes do concreto deve ser realizado de acordo com o que define a NBR 12654.

Ainda de acordo com a NBR 12655 (2015), os componentes do concreto devem ser misturados até formar uma massa homogênea, e esta operação poderá ser executada na obra, central de concreto ou em caminhão betoneira, de modo que o equipamento utilizado para a mistura deve atender as especificações do fabricante quanto a capacidade de carga e tempo de mistura. Quando misturado em betoneira, o tempo mínimo de mistura é de 60 segundos.

Segundo Mehta e Monteiro (2008), a cura do concreto tem como objetivos evitar a perda da umidade e controlar a temperatura por período de tempo suficiente para se atingir o nível de resistência desejada. Merecendo uma atenção especial na prática da construção civil, pois a cura inadequada, compromete a resistência e a durabilidade da estrutura.

2.5 PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO

As propriedades do concreto no estado fresco são importantes para garantir que a moldagem seja realizada de forma eficiente e permita a obtenção das características finais adequadas. Bauer (2008) destaca que estas devem assegurar a obtenção de uma mistura de fácil transporte, lançamento e adensamento, sem segregação, apresentando uma mistura homogênea e com o mínimo de vazios após o lançamento.

As principais propriedades do concreto no estado fresco são trabalhabilidade, perda de abatimento, segregação e exsudação, influenciando diretamente as propriedades do concreto no estado endurecido (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

2.5.1 Trabalhabilidade

A trabalhabilidade é uma propriedade fundamental para o concreto no estado fresco, podendo ser definida como sendo a capacidade e facilidade com a qual o concreto pode ser transportado, lançado, adensado e acabado, apresentando uma mistura com a perda mínima da homogeneidade (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Ainda segundo os autores supra citados, a trabalhabilidade do concreto é uma propriedade composta por dois componentes principais: a fluidez que é responsável pela mobilidade do concreto e a coesão responsável pela resistência à exsudação e à segregação. A trabalhabilidade é de suma importância para a tecnologia do concreto, devido as suas características que afetam a capacidade de execução da construção.

A trabalhabilidade é considerada uma propriedade que varia segundo as condições de lançamento, adensamento e acabamento presentes em cada obra. No entanto, cada situação exigirá do concreto no estado fresco trabalhabilidades únicas que permitam o desenvolvimento das atividades de forma eficiente (SHETTY, 2005).

Neville e Brooks (2013), fazem referências a existência de vários fatores que podem afetar a trabalhabilidade dos concretos. Dentre eles pode-se destacar o consumo de água e de cimento utilizados na mistura, as características do agregado e a utilização de aditivos e adições. Pequenas quantidades de água ou de cimento contribuem para a formação de uma mistura pouco trabalhável. Enquanto que, o tamanho das partículas do agregado graúdo e a utilização de areias finas com grãos angulosos alteram a quantidade de água necessária para se obter uma consistência anteriormente imposta.

2.5.2 Perda de abatimento

Segundo Mehta e Monteiro (2008), a perda do abatimento pode ser definida como a perda da consistência do concreto no estado fresco ocasionado pela perda de água, consumida pelas reações de hidratação, por absorção das superfícies dos agregados que compõe a mistura de concreto e por evaporação, causando o endurecimento da pasta de cimento. É um fenômeno natural e ocorre em todas as misturas de cimento.

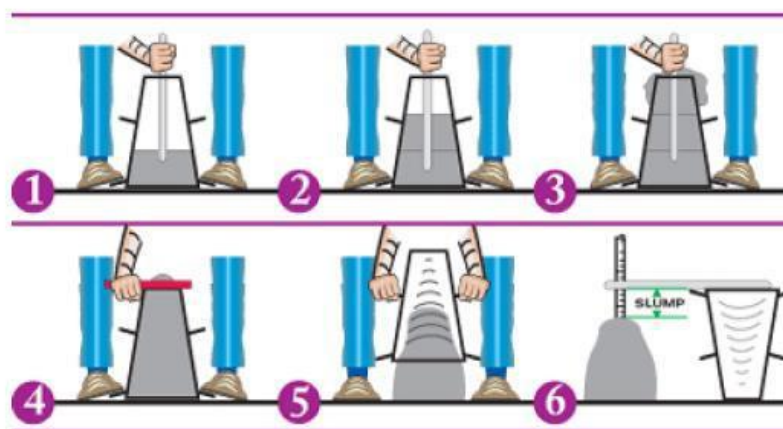
A perda de abatimento ou endurecimento do prematuro do concreto no estado fresco pode ocasionar consequências negativas tais como:

[...] acréscimo de torque na caçamba da betoneira, uma necessidade de mais água na betoneira ou no canteiro, aderência do concreto dentro da caçamba do caminhão betoneira, dificuldades em bombear e lançar o concreto, maior consumo de mão-de-obra para operações de tratamento e acabamento e, finalmente, queda na produtividade e qualidade do trabalho da mão-de-obra, perda de resistência, de durabilidade e de outras propriedades quando a redosagem de água é excessiva ou não é misturada homogeneamente. (MEHTA; MONTEIRO, 2008, p. 366).

Segundo Li (2011), as causas da perda de abatimento do concreto no estado fresco são ocasionadas pelo emprego de cimento com pega anormal, longos períodos de mistura, transporte, lançamento, adensamento ou acabamento e a alta temperatura do concreto devido ao calor de hidratação ou devido à alta temperatura do ambiente.

Segundo Mehta e Monteiro (2008), o ensaio de abatimento de tronco de cone, conhecido como *Slump Test* é utilizado para determinar a medida de consistência do concreto com a finalidade de verificar sua trabalhabilidade. No entanto, o ensaio de abatimento não é adequado para medir a consistência de concretos muito fluidos ou muito secos. É um ensaio muito popular, por ser um método de simples execução e conveniente para controlar a uniformidade da produção do concreto. A figura 4 mostra a sequência de passos para a realização do ensaio *Slump Test*.

Figura 4 – Sequência de passos para realizar o ensaio *Slump Test*.



Fonte: Pimenta (2012).

2.5.3 Segregação e exsudação

Segundo Mehta e Monteiro (2008, p. 370), define “segregação como a separação dos componentes de uma mistura de concreto fresco de tal forma que sua distribuição deixe de ser

uniforme”. Conforme o mesmo autor há dois tipos de segregação. O primeiro ocorre nas misturas de concreto muito secas, separando os agregados da argamassa, e o segundo é a exsudação que acontece em misturas de concreto muito fluidas, onde os sólidos por serem mais pesados que a água, tendem a sedimentar devido a força da gravidade, onde a água ascende e tende a ficar retida na superfície do concreto, enfraquecendo essa porção do material

Mehta e Monteiro (2008), apontam as principais causas que ocasionam o fenômeno de segregação e exsudação no concreto:

- Consistência inadequada;
- Quantidade excessiva de partículas do agregado gráúdo muito densas ou pouco densas;
- Pouca quantidade de partículas finas;
- Métodos impróprios de lançamento e adensamento.

Ainda segundo Mehta e Monteiro (2008), para que o fenômeno de segregação não ocorra é necessário na maioria dos casos uma atenção especial à granulometria do agregado, diminuindo a dimensão máxima do agregado gráúdo e o uso de mais areia ou areia mais fina. O aumento do cimento e o uso de adições e incorporadores de ar são medidas comumente empregadas para conter o fenômeno da exsudação nas misturas de concreto.

2.6 PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

Várias são as propriedades do concreto no estado endurecido, mas neste presente trabalho serão abordadas apenas aquelas que podem ser consideradas mais comuns em pesquisas, sendo elas, resistência mecânica, permeabilidade e durabilidade.

Bauer (2012) destaca, os seguintes fatores: densidade, atrito com a água, módulo de elasticidade, calor específico, dilatação térmica, condutibilidade térmica, elétrica e do som, absorção de radioatividade, resistência ao fogo, reação álcali-agregado, corrosão das armaduras, aderência e fissuramento.

2.6.1 Resistência mecânica

Segundo Mehta e Monteiro (2008), a resistência é a propriedade mais importante do concreto para os projetistas e engenheiros de qualidade, e traduz-se na resistência à compressão, à tração, à flexão e ao cisalhamento. No entanto, a resistência irá definir a capacidade que um material possui de resistir a tensão sem causar a ruptura.

Ainda segundo Mehta e Monteiro (2008), a resistência do concreto depende de vários fatores. No entanto, no que se refere a resistência, a relação água/cimento e porosidade, são os fatores mais importantes, pois afeta a porosidade da matriz da argamassa de cimento e da zona de transição na interface entre a matriz e o agregado graúdo.

Ambrozewicz (2012), afirma que, vários fatores podem influenciar de forma significativa a resistência mecânica do concreto no estado endurecido. Destacando como principais, a relação água/cimento, idade do concreto, forma e granulometria dos agregados, tipo de cimento utilizado e as condições de cura.

Segundo Neville (2016), a relação água/cimento determinada na dosagem do concreto irá definir a porosidade da pasta de cimento quando endurecida em qualquer fase de hidratação. No entanto, tanto a relação água/cimento quanto o adensamento possuem influência direta na quantidade de vazios no concreto, e consequentemente a resistência mecânica.

Neville e Brooks (2013), afirma que, as reações de hidratação do concreto ocorrem por vários anos e confere ao mesmo as propriedades de resistência mecânica. Desse modo, concreto com idades avançadas possuem maior resistência mecânica, desde que em condições de operação.

Atualmente no mercado existe uma grande variedade de tipos de cimento Portland disponíveis. Como a resistência do concreto está relacionada diretamente com a resistência que o cimento adquire na mistura após seu endurecimento. Portanto, cada tipo de cimento confere ao concreto características únicas de resistência mecânica (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Shetty (2005) menciona que a cura é um procedimento utilizado para promover a hidratação do cimento mediante controle de temperatura e movimento de água para dentro e para fora do concreto. Desta forma, influencia diretamente na umidade e na temperatura do concreto nas primeiras idades, garantindo que as propriedades de resistência mecânica do concreto sejam atingidas.

2.6.2 Permeabilidade

Segundo Bauer (2012), o concreto é obrigatoriamente um material poroso, esses vazios presentes em seu interior são ocasionados por várias circunstâncias que lhe são impostas durante sua produção. Entre elas, podemos destacar o excesso de água necessária para se obter a trabalhabilidade desejada, diminuição do volume causado pelas reações da hidratação do cimento, ar incorporado durante a operação de mistura, fissuras de diversas origens e má dosagem (BAUER, 2008).

Segundo Bauer (2012, p. 307), “ a permeabilidade do concreto à água e a outros líquidos se exprime pela quantidade de água que atravessa uma superfície unitária, numa espessura unitária, durante a unidade de tempo, e sob pressão unitária ($1/m^2 h$) ”. Conforme o mesmo autor, todo fator responsável por melhorar a resistência do concreto à compressão terá efeito benéfico também na permeabilidade. No entanto, a impermeabilidade irá crescer com a redução da relação água/cimento e consequentemente a redução da quantidade de finos na mistura, inclusive cimento, cuidados com a cura e o emprego de certos aditivos.

A permeabilidade é uma propriedade muito importante em concretos armados, principalmente quando estes estão expostos à ação de agentes agressivos que o atacam quimicamente destruindo sua estrutura. Nesses casos é importante a impermeabilidade destes concretos, evitando que a água e os agentes agressivos penetrem suas estruturas e causem a corrosão levando-a ao colapso (DAY, 2006).

2.6.3 Durabilidade

A durabilidade do concreto pode ser definida como a capacidade de resistir a ataques de agentes químicos ou qualquer outro processo de deterioração durante a sua vida útil (MEHTA e MONTEIRO, 2008). O mesmo autor afirma que, nenhum material é totalmente durável. Com a influência do ambiente, a microestrutura, suas propriedades irão mudar com o tempo. Então o material atingirá o fim de sua vida útil, quando suas propriedades mediante condições de uso se deteriorarem impossibilitando sua utilização de forma segura.

Bauer (2012), menciona que, a durabilidade dos elementos construtivos pode ser afetada por uma grande quantidade de agentes agressivos capazes de diminuir a durabilidade do concreto, podendo conduzir a destruição completa da estrutura. Entre eles destacam-se os agentes mecânicos, físicos, físico-químicos, ecológicos e químicos, intrínsecos e biológicos.

2.7 RESÍDUO DE PÓ DE PEDRA

2.7.1 Origens do resíduo

O pó de pedra pode ser considerado como um material com granulometria inferior a 6,3mm, resultante do processo de britagem de rochas, podendo ser encontrado na literatura por diferentes denominações, tais como, pó de brita, finos de pedreira, areia artificial, finos de pedra

britada, finos de britagem, dentre outros. Sendo a denominação pó de pedra, a nomenclatura mais utilizada e conhecida comercialmente (SÁ, 2006).

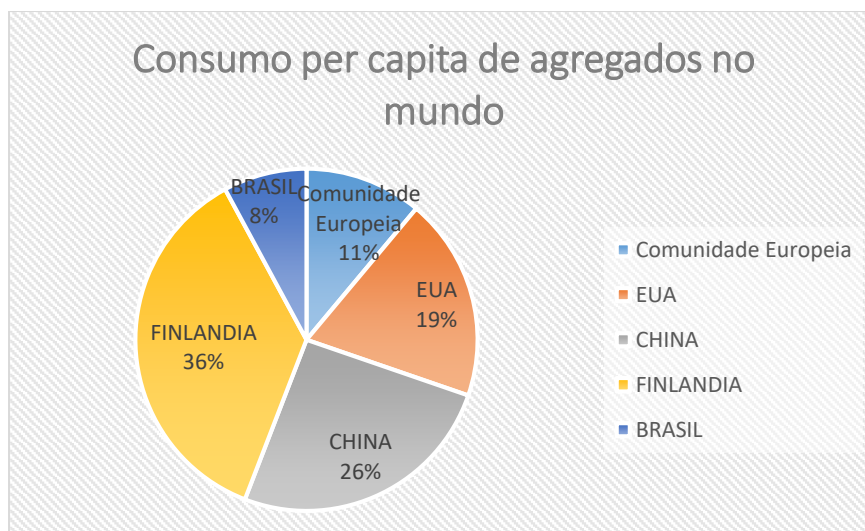
A areia de brita ou areia artificial pode ser definida como material passível de ser obtido em pedreiras a partir de instalações de beneficiamento a úmido, apresentando uma granulometria entre 4,8 e 0,074mm (Cuchierato, 2000). Para Bauer (2012), o pó de pedra é um material mais fino que o pedrisco, sua graduação genérica, mas não rigorosa, é de 0 a 4,8mm.

Segundo Almeida (2012), os agregados artificiais podem ser produzidos por algum processo industrial, como as pedras britadas, areias artificiais, escórias de alto forno e argila entre outros.

Ainda de acordo com Almeida (2012), existem alguns produtos substitutos dos agregados minerais, destacando-se entre eles: os reciclados de entulhos de demolição, as argilas expandidas, os rejeitos de produtos siderúrgicos (escória de alto-forno ou aciaria), os resíduos da indústria de plásticos, os resíduos de pneus triturados, a areia de brita e a areia marinha. Mas nenhuma outra fonte é tão abundante quanto os próprios agregados minerais. Sendo que os reciclados de entulhos de demolição dependendo do processamento a que são submetidos, podem gerar agregados para construção civil de qualidade comparável aos agregados naturais.

2.7.2 Aplicações em materiais de construção

A construção civil é o maior consumidor de agregados, e representa um importante parâmetro para indicar a situação sócio econômica de um país. Segundo a ANEPAC (2015), enquanto a Finlândia consome anualmente cerca de 17 ton/habitante de agregados, a China em torno de 12 ton/habitante, os EUA consomem cerca de 9 ton/habitante, o Brasil consome em torno de 3,7 ton/habitante. O Gráfico 1 a seguir, mostra o consumo per capita de agregados no mundo.

Gráfico 1 – Consumo de agregados no mundo

Fonte: Próprio autor (2018)

O baixo consumo no Brasil se dá devido uma demanda reprimida de agregados para construção e pela inexistência de obras adequadas de infraestrutura e habitação (AMEIDA; LUZ, 2012).

A NBR 9935 (2011), define com agregado artificial todo material resultante do processo industrial envolvendo alteração mineralógica, química ou físico-químico da matéria prima original para uso em concreto ou argamassa. No entanto o pó de pedra é usado na construção civil como material de sub-base em obra de terraplenagem, pavimentação, usinas de asfalto, produção de concreto e argamassas para assentamento e emboço.

2.7.3 Aplicações do resíduo em concreto como agregado miúdo

Prudêncio Jr *et al* (1995) menciona que apesar do crescente uso do resíduo pó de pedra na produção do concreto convencional existem limitações no seu uso, dentre as quais pode se destacar o alto teor de material pulverulento e forma áspera e angulosa de suas partículas. Estas características, segundo os pesquisadores, necessitam de uma maior quantidade de água, e eleva o consumo de cimento/m³, além de prejudicarem a trabalhabilidade, a bombeabilidade da mistura e o acabamento do concreto.

Segundo Weidmann (2008), de forma geral a composição granulométrica e a formato das partículas do agregado miúdo proveniente da britagem de rochas podem influenciar significativamente no desempenho do concreto.

Essa areia proveniente do processo de britagem apresenta uma distribuição granulométrica bem uniforme, dependendo do processo de moagem adotado. No entanto, os grãos assim como a brita, possuem um formato anguloso e com superfície áspera capaz de reduzir a trabalhabilidade no concreto. Quando em forma cúbica, como as britas graníticas e, com grande proporção de sílica, proporcionam uma maior interação com a mistura, resultando em diminuição da quantidade de vazios do concreto. A areia de britagem se encontra praticamente isenta de impurezas de natureza orgânica e argilosa (Costa, 2005).

As partículas da areia de britagem, quando comparada com a areia natural são mais angulosas, portanto menos esféricas, influenciando negativamente na trabalhabilidade do concreto, sendo esta, portanto uma das barreiras de sua utilização (SILVA; CAMPITELLI, 2005).

Segundo Lodi e Prudêncio Junior (2006), historicamente a areia resultante do processo de britagem de rochas é um material que apresenta uma elevada aspereza, prejudicando a aderência entre o agregado e a pasta de cimento, exigindo um maior consumo de cimento e água na produção dos concretos, quando se deseja atingir uma certa resistência à compressão, quando comparado com concretos fabricados com areia natural. No entanto a morfologia dos grãos do pó de pedra, vem sendo alterada nos últimos anos, em função da fabricação de equipamentos de britagem mais eficientes como os britadores do tipo VSI, que durante o processo de britagem permitem a fabricação de grãos mais esféricos.

A aplicação do pó de pedra como agregado miúdo no concreto, quer por aspectos econômicos, quer por aspectos relacionados a durabilidade, vem sendo pesquisada e tem gerado enorme interesse, uma vez que os rejeitos provenientes do processo de britagem que ficam estocados nos pátios das pedreiras poderão ser comercializados, amenizando os transtornos causados no que diz respeito a estocagem e aos danos prejudiciais ao meio ambiente. Na Figura 5, observa-se a estocagem do resíduo de pó de pedra nos pátios das pedreiras.

Figura 5 – Resíduo do pó de pedra estocado em pedreiras



Fonte: próprio autor

2.7.4 Pesquisas sobre o melhoramento do resíduo do pó de pedra para a produção de concretos e argamassas.

Bispo (2003), realizou estudo sobre a obtenção de areia artificial a partir de finos de pedreiras. Para tanto foi montada uma unidade piloto de britagem no CETEM na pedreira Pedra Sul – MG, com a finalidade de obter de maneira economicamente viável areia artificial, para uso em concretos e finos para argamassas. No entanto, uma das primeiras etapas foi a aquisição e montagem de um britador VSI de eixo vertical com capacidade de 2 a 10 t/h, um silo alimentador, correias transportadoras e peneira vibratória. A escolha do britador tipo VSI se deu porque ele se diferencia dos convencionais pela utilização do acúmulo de rochas dentro da máquina para minimizar o desgaste metálico, sendo este adequado para a obtenção de areia artificial, pois, produz grãos com formato cúbico, quando se trabalha com alimentação fina. A unidade piloto foi alimentada com brita 0 e com 50% de brita 0 e 50% de pó de pedra em massa, a alimentação do britador variou de 2 a 4 t/h sendo mantida a malha de classificação de 3mm.

O autor observou que quando se aumentava a abertura do cascadeador e a taxa de alimentação houve um aumento na produção de finos. Deste modo, os ensaios que apresentaram melhor resultado foi quando o britador foi alimentado somente com a brita 0, ou seja, produziu menos finos.

Pode-se concluir que o britador VSI é o responsável pela melhoria no formato das partículas, produzindo grãos mais arredondados semelhante aos da areia natural padrão IPT.

Nos ensaios com o aeroseparador a areia artificial que apresentou a melhor posição foi aquela em que a quantidade de finos inferior a 5% em todas as taxas de alimentação. Portanto

usou-se essa configuração para a obtenção da areia artificial por ser a que melhor se enquadrava às curvas da areia da ABNT, com uma taxa de alimentação de 85 Kg/h.

Dutra (2015), realizou um trabalho a produção de concreto com areia de granulometria ótima – obtida do resíduo da mineração de quartzo. Para a realização do experimento o material coletado foi separado em duas frações granulométricas: uma retida na peneira 4,8mm e outra passante nesta mesma peneira. Para a pesquisa foi utilizada as frações passantes na peneira de 4,8mm. Para tanto esse material foi processado em um britador de mandíbulas, em seguida o material passou pelo processo de segregação granulométrica no peneirador solotest, até que fosse obtida uma areia que se enquadrasse na zona ótima, como prescreve a NBR 7211/2009, obtendo-se os seguintes produtos rejeito da mineração de quartzo (AOR), areia industrial de gnaiss (AIG) e areia natural de rios (ANR).

Todos os corpos de prova foram moldados a partir de concreto dosado pelo método IPT/EPUSP. Todos os materiais foram submetidos a uma série de ensaio, dentre eles, distribuição granulométrica, teor de material fino, absorção de água, abatimento do tronco de cone, resistência a compressão axial, resistência a tração diametral, entre outros.

O autor concluiu que a AOR apresenta resultados muito semelhante a ANR, quanto a caracterização física, e apresenta resultados idênticos nos ensaios de teor de umidade, massa unitária e absorção de água, enquanto que a AIG apresenta diferenças físicas significativas quando comparada com a ANR. Quanto ao formato dos grãos a AOR mostrou-se semelhante ao da AIG, isso se deu devido ao processo de produção de ambas.

No estado fresco os concretos produzidos com a AOR e a ANR a trabalhabilidade manteve-se igual, e apresentaram um mesmo valor de slump, enquanto que a AIG necessitou de mais água. Nos ensaios de massa específica e o teor de ar incorporado, as três areias apresentaram resultados próximos.

No estado endurecido com relação ao índice de vazios e absorção de água, todos os concretos apresentaram valores muito próximos, com exceção da AIG classe 30 MPa, que apresentou valores maiores.

No ensaio de resistência à compressão, notou-se que os concretos confeccionados com a AOR, apresentou melhor resultado na classe 20 MPa, aos 28 dias, quando comparado com os produzidos com a ANR e a AIG, já a AOR apresentou aproximadamente 40 MPa em todas as idades ensaiadas, no entanto, com relação a resistência de 40 MPa, a AIG apresentou a melhor Resultado, ou seja, onde foi utilizado um elevado volume de cimento. Com relação a resistência à tração o desempenho dos concretos foi a esperado, ficando em torno de 10% da resistência a compressão axial.

Nos ensaios referentes ao módulo de elasticidade estático as três areias apresentaram valores estatisticamente iguais, enquanto que, no módulo de elasticidade dinâmico à ANR, apresentou uma diferença quando comparado com a AOR.

Em relação a reação álcali agregado, quando submetido ao banho térmico no período de 30 dias, a AOR foi a que menos expandiu, enquanto que a AIG foi que mais expandiu. Portanto, pode-se concluir que a AIG é expansivamente deletéria, apresentando um limite 0,19% aos 30 dias, limite menor que o rescrito pela NBR 15577/2009.

Almeida (2002), realizou outra pesquisa para obtenção de areia artificial com base em finos de pedreiras. Para a realização dos experimentos foram coletadas amostras da areia artificial produzidas com bases em finos das pedreiras de brita de Juiz de Fora – MG e areia natural com padrão IPT. Para tanto, foram estudados como parâmetros, a distribuição granulométrica e a forma das partículas por meio de microscopia eletrônica entre outros.

O autor concluiu que a areia natural apresentou uma distribuição granulométrica uniforme em todas as frações. No entanto, a areia obtida com o pó de pedra da pedreira Pedra Sul não apresentou a mesma uniformidade, apresentando uma significativa quantidade de grãos com granulometria acima de 2,4mm e abaixo de 0,15mm. Este fato, sugere que o aproveitamento do pó de pedra, obtido a partir de britador convencional da pedreira, como areia artificial, não é recomendável para a construção civil, por apresentar uma distribuição granulométrica não adequada.

Com base nos ensaios por meio de microscopia eletrônica, pode-se afirmar que o pó de pedra apresenta um índice de arredondamento menor quando comparado com a areia natural padrão IPT. Esta distinção morfológica dos grãos pode ser percebida principalmente nas frações finas. No entanto uma alternativa viável para a obtenção de uma areia artificial é a utilização de um britador do VSI BARMAC de eixo vertical, que irá proporcionar a obtenção de uma areia com partículas mais arredondadas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada neste trabalho consistiu na coleta das matérias primas que serão utilizadas na caracterização granulométrica dos agregados miúdos utilizados no estudo da dosagem, produção dos concretos e na determinação dos parâmetros de resistência a compressão axial, buscando identificar a possibilidade de substituição do agregado miúdo por pó de pedra na composição do concreto, com a finalidade de alcançar dos objetivos propostos na pesquisa.

3.1 MATÉRIAS PRIMAS

3.1.1 Cimento Portland

Para a produção dos concretos nesta pesquisa foi utilizado o cimento Portland CP IV RS – 32, fabricante Nassau. Optou-se pela utilização referido cimento por ser muito utilizado em obras na região e na cidade de Assú/RN. As informações referentes a caracterização desse material foram obtidas junto ao fabricante.

3.1.2 Agregado graúdo

O agregado graúdo utilizado nesta pesquisa foi a brita granítica com diâmetro máximo de 19mm, também conhecida no mercado como brita 1, de acordo com a NBR 7211 (2009). Optou-se por este material por apresentar uma granulometria usada nos canteiros de obra da região e facilmente encontrada no mercado da construção civil.

3.1.3 Agregado miúdo (areia natural)

A areia natural utilizada na composição do concreto foi obtida no Rio Piranhas Assú/RN. Todo o material foi seco ao ar livre, homogeneizado e em seguida passado pela peneira de malha 4,75mm, sendo retirada toda a fração superior a essa malha.

3.1.4 Resíduo do pó de pedra

Utilizou-se também como agregado miúdo, em substituição da areia natural, o resíduo de pó de pedra, proveniente do processo de britagem de rochas graníticas na pedreira Itajá, localizada na RN 118 que liga o município de Itajá/RN a BR 304. Na Figura 6, pode-se observar o resíduo de pó de pedra estocado no pátio da pedreira Itajá.

Figura 6 – Resíduo do pó de pedra estocado na Pedreira Itajá.



Fonte: Autoria própria

3.1.5 Água de amassamento

A água de amassamento utilizada na produção do concreto foi água potável proveniente da rede de abastecimento do município de Angicos/RN, distribuída pela Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN).

3.2 PRODUÇÃO DOS CONCRETOS

Os materiais utilizados na pesquisa foram pesados em balança devidamente calibrada com capacidade de carga de 300 kg. A água da mistura foi medida com o auxílio de uma proveta com capacidade de 1000 ml.

Foram obtidos empiricamente 3 traços de concreto, através do método ABCP, para cada traço foram moldado 4 corpos de prova cilíndrico com dimensões 20 x 10cm totalizando em 12 corpos de prova, sendo 4 corpos de prova para o traço de referência composto de areia natural

(AN) e 8 para avaliar o comportamento da substituição total do agregado miúdo natural (areia) pelo pó de pedra, sendo 4 corpos de prova com pó de pedra (PP) e 4 com o pó de pedra modificado (PPM).

Todos os traços do concreto, inclusive os em que a areia natural foi substituída pelo pó de pedra, utilizados na pesquisa foi na proporção em massa de 1: 2: 2,5: 0,55 (cimento, agregado miúdo, agregado graúdo, relação a/c). Na Tabela 3 apresenta-se o consumo dos componentes por metro cúbico e o traço utilizado na moldagem dos corpos de prova.

Tabela 3 – Consumo dos componentes e o traço do concreto pelo método ABCP

	Cimento	Areia	Brita	Água
Consumo (Kg/m³)	380	760	950	209
Traço	1,0	2,0	2,5	0,55

Fonte: próprio autor

A moldagem dos corpos de prova foi realizada de acordo com os procedimentos da NBR 5738 (2015). Na pesquisa foi utilizado uma betoneira de eixo inclinado, com capacidade para 150 litros, para produzir todos os traços. Como ilustra a Figura 7.

Figura 7 – Misturador basculante (Betoneira)



Fonte: Próprio autor (2018)

A sequência de inserção dos materiais na betoneira, obedeceram a seguinte ordem:

- a) Com a betoneira parada foi adicionado o agregado graúdo e parte da água de amassamento.
- b) Em seguida com a betoneira em movimento foram adicionados o agregado miúdo, o cimento e o restante da água de amassamento, permanecendo em movimento por um período de tempo necessário para garantir a homogeneidade da mistura.
- c) A descarga do concreto fresco foi diretamente em um balde, com superfície limpa e não absorvente.

Após o processo de moldagem, os corpos de prova permaneceram nos moldes por cerca de 24 horas. Decorrido esse período de 24 horas iniciais, os mesmos foram retirados dos moldes e submetidos ao processo de cura, por imersão em água (Figura 8), em um tanque durante 28 dias. Após esse tempo os corpos de prova foram retirados no prazo para execução dos ensaios.

Figura 8 – Corpos de prova em cura úmida



Fonte: Próprio autor (2018)

3.3 ENSAIOS REALIZADOS

3.3.1 Caracterização dos agregados miúdos

Os agregados miúdos (areia e pó de pedra) foram encaminhados ao Laboratório de Construção Civil (LCC) do IFRN – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio

Grande do Norte, Campus Mossoró, onde foram secos ao ar livre. Após esta etapa, foram em seguida preparadas as amostras de areia e pó de pedra para os ensaios de caracterização, ou seja, determinação da composição granulométrica da areia natural e do pó de pedra, pelo método do peneiramento para determinação da composição granulométrica desses agregados. Todos os procedimentos para a realização dos ensaios seguiram as prescrições da NBR NM 248 (2003).

A Figura 9. Mostra a série de peneiras normais sobre o agitador mecânico utilizado no ensaio de peneiramento dos agregados miúdos. Enquanto na Figura 10 pode-se observar as frações obtidas após a realização do ensaio de caracterização granulométrica do pó de pedra.

Figura 9 – Conjunto de peneiras no agitador mecânico



Fonte: Autoria própria

Durante a análise dos resultados, detectou-se que após o ensaio de análise granulométrica, o pó de pedra não apresentou resultados não satisfatórios. A curva do ensaio granulométrico referente a análise granulométrica estava muito fora da zona utilizável. Desta maneira, descartaram-se esses resultados e concentraram-se os esforços na composição de uma areia artificial (pó de pedra), onde após análise granulométrica pudesse se obter um pó de pedra em que a curva granulométrica se encontra-se pelo menos dentro dos limites da zona utilizável.

De posse dos resultados obtidos na análise granulométrica do pó de pedra na forma bruta, foi realizado o peneiramento manual de 15Kg do material, separando-se cada porção que ficou retida nas peneiras da série normal, em seguida cada porção do material foi pesado e

separado para a partir daí se começar a composição de uma nova amostra de pó de pedra, denominado pó de pedra modificado (PPM), onde foi alterada todas as frações, principalmente a fração que ficou retida na peneira 1,18mm, pois foi onde se concentrou a maior quantidade de massa retida.

Figura 10 – Frações dos agregados após realização do ensaio de peneiramento



Fonte: Autoria própria (2018)

3.3.2 Determinação da consistência (*Slump Test*)

A determinação da consistência do concreto no estado fresco, foi realizada através do ensaio de abatimento do tronco de cone, descrito pela norma NBR NM 67 (1998), realizado no laboratório de Materiais de Construção (LMC) UFERSA – Campus Angicos/RN. Os equipamentos utilizados para a realização dos ensaios foram (Figura 11):

- Molde de aço em forma de tronco de cone, com 30cm de altura, e ambas as bases abertas, sendo a inferior com 20cm e a superior com 10cm;
- Haste de aço com 60cm de comprimento e diâmetro de 1,6cm;
- Régua graduada de alumínio;
- Placa metálica.

Figura 11 – equipamentos utilizados para a realização do ensaio *Slump Test*



Fonte: Próprio autor (2018)

O procedimento consiste na utilização de uma fôrma tronco cônica sobre uma placa metálica, haste de compactação, funil e concha para se adicionar o material a fôrma. Na sequência o tronco de cone foi posicionado sobre a placa metálica, fixando-o com os pés. Em seguida foram adicionadas três camadas, cada uma golpeada 25 vezes com o auxílio da haste de compactação (Figura 12):

Figura 12 – *Slump Test* apoiado com os pés pelo operador para retirada do molde



Fonte: Autoria própria (2018)

Finalizando o preenchimento e compactação da última camada da fôrma tronco cônica, o excesso de concreto foi rasado com régua metálica, para a retirada da fôrma. E finalmente o abatimento do concreto no estado fresco pôde ser medido com o auxílio da haste e uma régua milimetrada (Figura 13), segundo a NBR NM 67 (1998), o valor do abatimento é a medida do adensamento do concreto, após a retirada da fôrma tronco cônica.

Figura 13 – medida do abatimento com o auxílio da haste e uma régua milimetrada



Fonte: Autoria própria (2018)

3.3.3 Ensaio de resistência mecânica à compressão simples

Após a cura e endurecimento dos corpos de prova de concreto aos 28 dias (Figura 14) os ensaios para a determinação da resistência à compressão simples dos corpos de prova cilíndricos de concreto foram realizados seguindo o proposto pela NBR 5739 (2007). O mesmo foi realizado no Laboratório de Construção Civil (LCC) do IFRN – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Campus Mossoró, na prensa de marca EMIC.

Figura 14 – Corpos de prova de concreto aos 28 dias



Fonte: Próprio autor (2018)

A execução deste ensaio, iniciou-se com a medida do diâmetro e altura dos corpos de prova, em seguida na retífica, as bases dos corpos de prova foram niveladas com o auxílio de uma lixa, conforme Figura 15. Na prensa foi posicionado de modo que seu eixo coincidissem com o da máquina, fazendo com que as resultantes das forças passem pelo centro.

Antes da execução do ensaio as faces dos pratos de carga e do corpo de prova foram limpas e secas, fazendo o ajuste dos pratos de compressão com a finalidade de facilitar a introdução e alinhamento do corpo de prova entre os pratos para em seguida ser colocado em posição de ensaio. O corpo de prova foi centralizado cuidadosamente no prato inferior, com o auxílio dos círculos concêntricos de referência, logo após a carga foi aplicada continuamente sem choques, até que o carregamento cessasse informando que houve uma queda de força indicando sua ruptura.

Figura 15 – Retificação dos corpos de prova



Fonte: Próprio autor (2018)

Figura 16 – Máquina rompendo os corpos de prova



Fonte: Próprio autor (2018)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção apresenta os resultados obtidos com os ensaios dos componentes constituintes do concreto, bem como os ensaios do concreto moldado com substituição total da areia natural por pó de pedra, realizando discussões acerca dos mesmos.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS MIÚDOS

Todos os materiais, areia natural e pó de pedra utilizados nesta pesquisa foram secos ao ar livre e em seguida submetidos ao ensaio de granulometria de acordo com os procedimentos da NBR NM 248 (2003).

4.1.1 Areia natural (AN)

A areia natural depois de seca foi submetida ao ensaio de análise granulométrica, apresentado os resultados obtidos como mostra a Tabela 4. Os maiores percentuais de massa retida encontram-se nas peneiras com aberturas entre 1,18mm a 0,30mm, apresentando um teor e finos é igual a 0,5%.

Tabela 4 – Composição granulométrica da areia natural

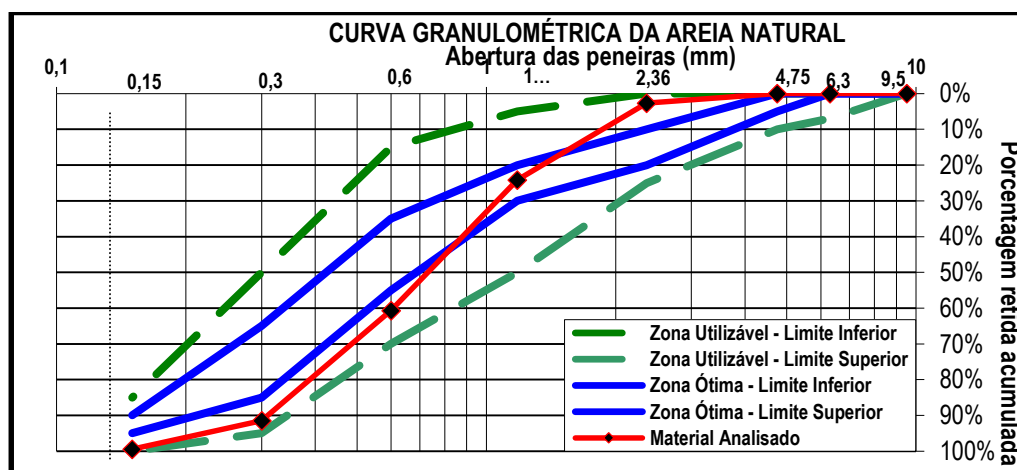
Abertura da Peneira (mm) ABNT	Massa Retida (g)	Massa Retida (%)	Porcentagem Retida Acumulada (%)	Porcentagem Material Passante (%)
4,75	0,0	0,0	0,0	100
2,36	13,30	2,7	2,7	97,3
1,18	107,31	21,5	24,2	75,8
0,60	182,54	36,6	60,7	39,3
0,30	153,79	30,8	91,5	8,5
0,15	39,66	7,9	99,5	0,5
Fundo	2,65	0,5	100	0
Total	499,25			
Módulo de Finura			2,79	
Dimensão máxima característica			2,36	

Os resultados obtidos indicam que a areia utilizada na pesquisa apresentou um diâmetro máximo de 2,36mm e módulo de finura 2,79, sendo classificada como areia média de acordo

com a NBR 7211 (2009) e enquadrada na zona utilizável de graduação conforme a NBR 7211 (2009).

No Gráfico 2, está apresentada a curva granulométrica da areia natural, obtida com os resultados das porcentagens retidas acumuladas do material em cada peneira após o ensaio do peneiramento.

Gráfico 2 – Curva granulométrica da areia natural



4.1.2 Areia artificial de pó de pedra (PP)

Depois de seco ao ar livre o pó de pedra foi submetido ao ensaio de análise granulométrica, apresentando os resultados obtidos conforme mostra a Tabela 5. Os maiores percentuais de massa retida encontram-se nas peneiras com aberturas entre 1,18mm e 0,6mm, apresentando um teor de finos igual a 1,9%.

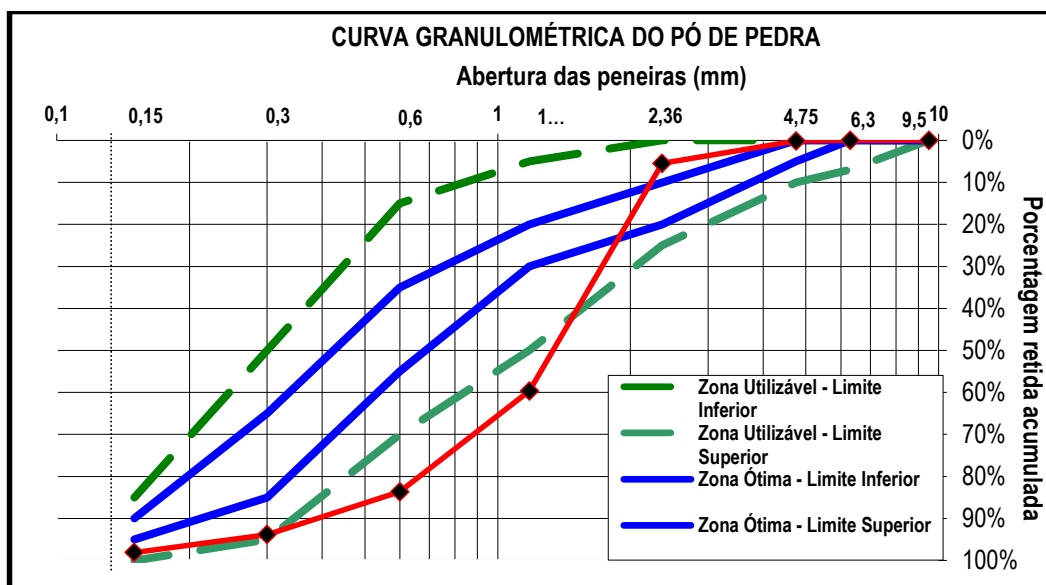
Tabela 5 – Composição granulométrica do pó de pedra

Abertura da Peneira (mm) ABNT	Massa Retida (g)	Massa Retida (%)	Porcentagem Retida Acumulada (%)	Porcentagem Material Passante (%)
4,75	0,66	0,1	0,1	99,9
2,36	26,64	5,3	5,5	94,5
1,18	270,45	54,2	59,7	40,3
0,60	119,90	24,0	83,7	16,3
0,30	50,76	10,2	93,8	6,2
0,15	21,38	4,3	98,1	1,9
Fundo	9,35	1,9	100	0
Total	499,15			
Módulo de Finura			3,41	
Dimensão máxima característica			4,75	

Os resultados obtidos mostram que o pó de pedra apresentou um diâmetro máximo de 4,75mm e módulo de finura 3,41, sendo classificada como areia grossa de acordo com a NBR 7211 (2009) e enquadrada fora da zona utilizável de graduação granulométrica conforme NBR 7217 (2005).

No Gráfico 3, apresenta-se a curva granulométrica do pó de pedra, obtida com os resultados das porcentagens retidas acumuladas do material em cada peneira após o ensaio do peneiramento.

Gráfico 3 – curva granulométrica do pó de pedra



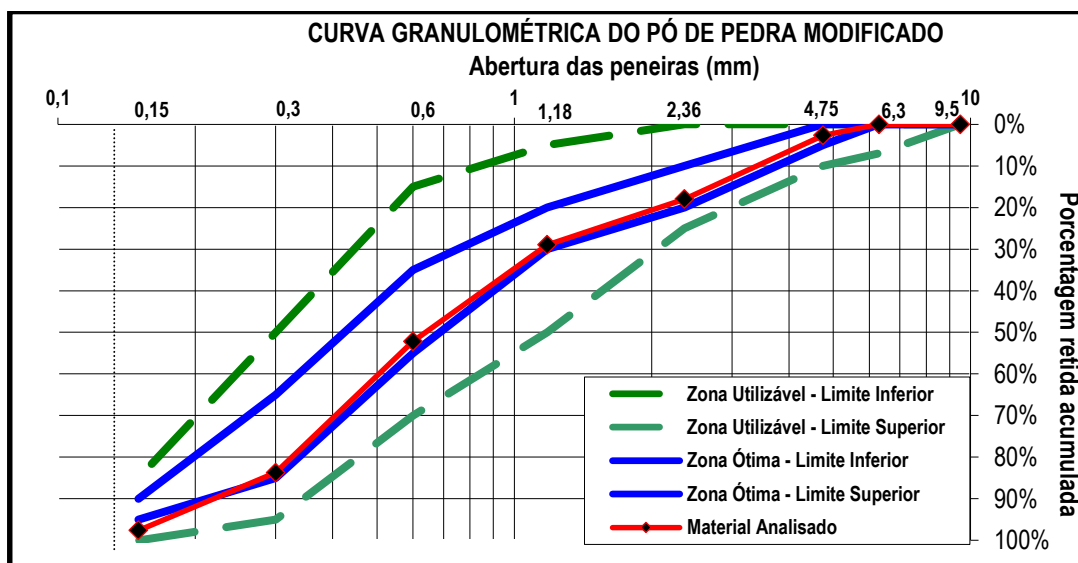
Após esse beneficiamento das quantidades de cada porção, todo o material foi misturado e homogeneizado para ser submetido a nova análise granulométrica. Na Tabela 6 são apresentados os resultados da composição granulométrica do pó de pedra modificado.

Tabela 6 – Composição granulométrica do pó de pedra modificado

Abertura da Peneira (mm) ABNT	Massa Retida (g)	Massa Retida (%)	Porcentagem Retida Acumulada (%)	Porcentagem Material Passante (%)
4,75	13,16	2,6	2,6	97,4
2,36	76,64	15,4	18,0	82,0
1,18	54,95	11,0	29,0	71,0
0,60	115,90	23,2	52,2	47,8
0,30	157,76	31,6	83,7	16,3
0,15	69,38	13,9	97,6	2,4
Fundo	11,85	2,4	100	0
Total	499,64			
Módulo de Finura			2,83	
Dimensão Máxima Característica			4,75	

A partir da amostra ensaiada do PPM, obteve-se a curva granulométrica, ilustrada no Gráfico 4, onde pode-se observar que o agregado encontra-se quase que em sua totalidade dentro dos limites da zona ótima e totalmente dentro da zona utilizável. Deve-se levar em conta que a zona ótima nada mais é que a busca por uma proporção em relação ao tamanho das partículas, promovendo um maior empacotamento das partículas, de modo que as partículas menores preencham os vazios entre as partículas maiores (CATOIA, 2007).

Gráfico 4 – Curva granulométrica do pó de pedra modificado



4.2 CONCRETO NO ESTADO FRESCO

A trabalhabilidade dos concretos foi avaliada através do ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone conforme NBR NM 67 (1998). Vários são os fatores que deve-se levar em consideração com relação à perda da fluidez dos concretos, tais como a temperatura do ambiente, a temperatura da água e do cimento, além da umidade do ar. Outros fatores que também podem influenciar são a composição química e sua finura, apesar disso, salienta-se que estes fatores permaneceram constantes para todos os traços avaliados.

Analisando os resultados encontrados observa-se a influência da granulometria dos agregados na trabalhabilidade do concreto. Como o cimento, o agregado graúdo e a relação água/cimento se mantiveram em todos os traços, havendo apenas a substituição da areia natural por pó de pedra verifica-se que há influência do agregado miúdo no abatimento do concreto.

Considerando para análise os valores dos abatimentos, os concretos produzidos com o pó de pedra em comparação com o de referência, apresentaram um abatimento menor. O que

se explica a influência do acréscimo do teor de finos e a forma dos grãos desses agregados na trabalhabilidade do concreto, visto que o concreto que utilizou o pó de pedra, necessita de mais água para se obter um abatimento mais próximo do da areia natural. Pode-se citar também que a maior absorção dos agregados de PP influencia na obtenção de misturas menos consistentes, estes resultados podem ser observados na (tabela 7).

Tabela 7 – Abatimentos dos concretos após o ensaio

Traços	Abatimento do concreto (mm)
AN	50
PP	10
PPM	10

Com base nas classes de consistência estabelecidos pela NBR 8953 (2015), os concretos estudados pertencem a classe S10 (abatimento entre 10 e 50mm) cuja aplicação é limitado a concreto extrusado, vibroprensado ou centrifugado.

Com os resultados obtidos nos ensaios realizados com os traços de concreto com o pó de pedra, verifica-se a necessidade do uso de um aditivo plastificante com a finalidade de se obter uma maior fluidez, melhorando a trabalhabilidade sem prejudicar a sua resistência.

4.3 CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

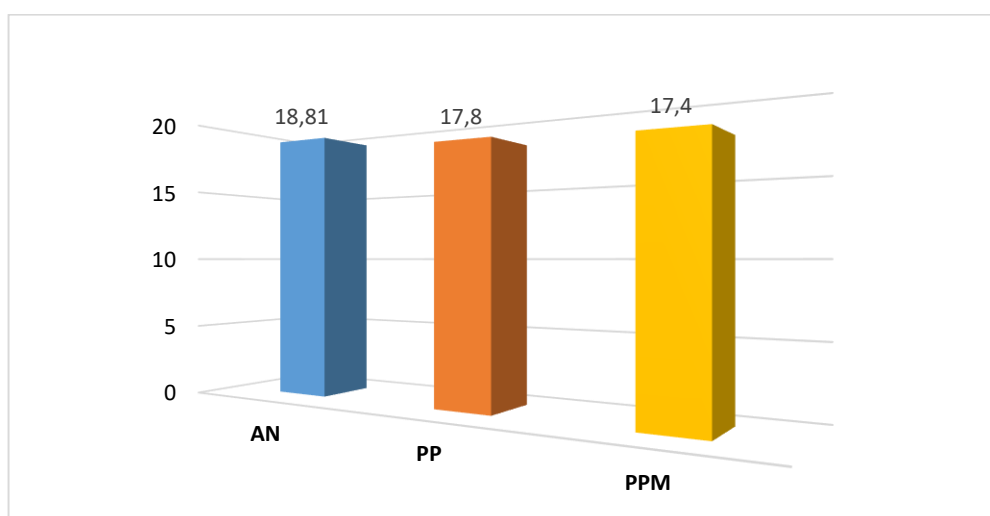
4.3.1 Resistência à compressão axial

Os ensaios para a determinação da resistência mecânica à compressão simples dos corpos de prova de concreto foram realizados conforme a NBR 5739 (2018). Neste ensaio todos os corpos de prova foram confeccionados com o mesmo traço, dosados para obter resistência à compressão axial de 20 MPa, aos 28 dias de idade. Na Tabela 8 são apresentados os resultados de resistência à compressão simples obtidos aos 28 dias para todos os traços de concreto produzidos.

Tabela 8 – Resistência à compressão dos corpos de prova de concreto

Traço	Resistência à compressão simples (MPa)				Desvio Padrão (MPa)
	CP 01	CP 02	CP 03	Média (MPa)	
AN	18,77	18,43	19,22	18,81	0,3949
PP	16,75	18,30	18,36	17,80	0,9124
PPM	16,24	18,65	17,30	17,40	1,207

A partir dos resultados obtidos das resistências mecânicas médias da Tabela 8, foi plotado o Gráfico 5, para melhor visualização dos resultados.

Gráfico 5 – Resistência à compressão simples

Fonte: Próprio autor (2018)

A partir dos resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão axial, observando a Tabela 8 e o Gráfico 4, não se pode afirmar que as amostras apresentam diferenças significativas de desempenho técnico.

De acordo com os dados apresentados pode-se perceber que os concretos, de modo geral apresentaram valores de resistência abaixo do esperado (20 MPa), sendo considerado de acordo com Mehta e Monteiro (2008), como um concreto de baixa resistência, ficando seu uso limitado apenas a construções do tipo, lastros de pisos preenchimento de valas de fundações corridas e outras, mas sem fins estrutural, pois a NBR 6118 (2014) cita que para fins estruturais a resistência mínima aceitável é de 20 MPa.

Ainda de acordo com os dados apresentados pode-se perceber que os resultados das resistências à compressão para os traços confeccionados com a substituição total da areia natural por pó de pedra (PP) e pó de pedra modificado (PPM) não houve diferenças significativas entre os valores de resistências apresentados.

A trabalhabilidade verificada nos concretos produzidos com o pó de pedra permitiu concluir que houve uma redução do abatimento do tronco de cone, na ordem de 80% em relação ao concreto produzido com areia natural (AN). Tal redução deve-se a forma das partículas e a quantidade de finos presente no pó de pedra, que necessitavam de uma maior quantidade de água de amassamento.

Nesta pesquisa percebeu-se a necessidade de se usar uma relação a/c maior nos traços de concretos compostos com PP para que pudéssemos moldar os corpos de prova com maior facilidade, evitando dessa forma a presença de vazios, já que não iríamos usar aditivos químicos nos concretos com a finalidade de melhorar sua consistência e consequentemente sua trabalhabilidade, já que a relação a/c foi mantida constante em todos os traços. Conforme a Almeida (2008) a relação a/c tem interferência direta na resistência e trabalhabilidade do concreto, quanto menor for o teor de água maior será a resistência e menor a trabalhabilidade.

Embora o PPM possua melhor distribuição granulométrica, o teor de finos é maior. Esses materiais possuem elevada área superficial, o que consequentemente reduz a consistência dos concretos para a mesma relação a/c. Como resultado, obtém-se concretos com maior quantidade de vazios e, consequentemente menos resistentes

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como principal objetivo a análise sobre o estudo do concreto confeccionado com substituição total do agregado miúdo (areia natural) por pó de pedra. Para tanto foram realizados alguns ensaios para avaliar a influência do agregado miúdo (pó de pedra) nas propriedades do concreto no estado fresco e endurecido. Desta forma, diante do exposto e das condições de realização do trabalho pode-se considerar que:

Todos os agregados miúdo, areia natural (AN) e pó de pedra modificado (PPM), com exceção do pó de pedra (PP) apresentaram distribuição granulométrica dentro dos limites prescritos pela NBR 7211 (2009) agregados utilizados para a produção de concreto de cimento Portland.

A AN e o PPM apresentaram composição granulométrica semelhantes. Entretanto, o PPM possui maior teor de finos.

A substituição da AN pelo PP na produção dos concretos mostrou-se viável tecnicamente, visto que as resistências à compressão obtidas foram semelhantes. A limitação, no entanto, é para aplicações sem função estrutural.

Apesar do PPM apresentar uma melhor distribuição granulométrica que o PP, o material teve o mesmo valor de abatimento no ensaio de tronco de cone e, conseqüentemente, resistências à compressão semelhantes.

Para a produção de concretos de cimento Portland a utilização do PP é uma boa alternativa econômica, devido ao elevado custo da AN. Além disso, com a utilização do PP pode-se reduzir os danos ambientais causados pela sua extração nos leitos dos rios.

Um fator que dificulta a substituição da AN pelo PP é a forma lamelar dos grãos e a grande quantidade de finos, o que resulta em misturas com maior demanda de água.

Os resultados obtidos, comprovam a viabilidade da utilização do PP na produção de concretos sem fins estruturais, possibilitando uma redução no custo do concreto e, principalmente, no impacto ambiental em consequência da deposição do pó de pedra na natureza.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realizar estudos sobre a utilização do uso do pó de pedra na composição de concreto de alto desempenho.
- Aplicar a mesma metodologia deste trabalho científico utilizando um aditivo plastificante para concreto e/ou variando o teor de substituição.
- Realizar um estudo à cerca da viabilidade econômica da incorporação do PP produção de concretos, avaliando a relação custo/benefício.
- Avaliar as propriedades físicas de concretos produzidos com pó de pedra.
- Utilizar o pó de pedra como adição mineral inerte (filer).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRIOLO, F. R. **Usos e abusos do pó de pedra em diversos tipos de concreto.** In: seminário: o uso da fração fina da britagem. II SUFFIB, São Paulo, 2005. **Anais**, São Paulo, EPUSP, 2005.

ALMEIDA, L. C. **Concreto:** notas de aula da disciplina Estruturas IV – Concreto armado.2002. 24f. Departamento de Estruturas, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2002.

ALMEIDA, S. L. M. & Luz, A. B. (2012). Manual de Agregados para a Construção Civil (2ª ed.) Rio de Janeiro: CETEM.

ALMEIDA, S. L. M, & SAMPAIO, J. A. (2002). Obtenção de areia artificial com base em finos de pedreiras. 1-6.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 11768:** Aditivos químicos para concreto de Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9935:** Agregados – Terminologia. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16697:** Cimento, Concreto e Agregados. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7211:** Agregados para Concreto - Especificações. Rio de Janeiro, 2009.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5738:** Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2016.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 67:** Determinação da Consistência pelo Abatimento do Tronco de Cone. Rio de Janeiro, 1998.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15577:** Agregados – Reatividade álcali-agregado. Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto. Rio de Janeiro, 2018.

AUGUSTO, DIEGO. **Tipos de britas**. App.emaze.com. 09/02/2018. Disponível em: <https://www.emaze.com/@AOLRCIFFZ/02_MC_-Ciencia-ligada-aos-materiais-copy1-copy1> Acessado em 29/08/2018.

ÂNGULO, S. C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento mecânico de concretos**. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

BASTOS, S. R. B., **Uso da areia artificial basáltica em substituição parcial da areia fina para produção de concretos convencionais**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Florianópolis, 2002.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção 1**. Editora Livros Técnicos e Científicos, 5ª Edição revisada, Rio de Janeiro, 2000.

BISPO, L. H. (2003). Obtenção de areia artificial a partir de finos de pedreiras – análises de ensaios. 1-12

CABRAL, Keillon Oliveira. **Influência da areia artificial oriunda da britagem de rocha granito-gnaiss nas propriedades do concreto convencional no estado fresco e endurecido**. Dissertação (Mestrado) – Em Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007.

CONCRETO E CONSTRUÇÃO: IBRACON. Curitiba: **Concreto**: Material Construtivo Mais Consumido no Mundo, V. 53, 2009. Trimestral. Issn 1809-7197.

COSTA, D. W.; CARANJO, D.; BASTOS, S. R. B.; SOUZA, W. A. Influência da granulometria do agregado miúdo na produção de concretos convencionais In: II SUFFIB – Seminário: O Uso da Fração Fina da Britagem, São Paulo, 2005. Anais. Eds. Cuchierato et al.

D'AREIA, CHICO. **Tipos de areia e suas funcionalidades**. Chicodareia.com.br. 18/04/2017. Disponível em: < <https://www.chicodareia.com.br/blog/3-tipos-de-areias-e-suas-funcionalidades> > Acessado em 29/08/2018.

DUARTE, J. B. **Estudo da substituição de agregados mudos naturais por pó de pedra em concreto de cimento Portland**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

DUTRA, Marina Bedeschi. **Produção de concreto com areia de granulometria ótima – obtida do resíduo da mineração de quartzo**. Dissertação (Mestrado) – Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2015.

FARIAS, M. M.; PALMEIRA, E. M. Agregados para a Construção Civil. In: ISAÍÁ, G.C. (Ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007.

HELENE, P. R. L. **Boletim técnico**: Controle de qualidade do concreto. 1986. 26f. Departamento de Engenharia de Construção Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1986.

HELENE, Paulo; TERZIAN, Paulo. Manual de dosagem e controle do concreto. 1ª ed. São Paulo: PINI, 1992. 255p.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. São Paulo, 2000. 102 p. Tese (Livre docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

KAEFER, L. F. **A Evolução do Concreto Armado**. São Paulo, 1998.

LODI, V. H. **Viabilidade técnica e econômica do uso de areia de britagem em concretos de cimento Portland na região de Chapecó-sc**. Curso de mestrado Profissional em Desempenho de Sistemas Construtivos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 3ª ed. São Paulo: IBRACON, 2008

MENOSSEI, R. T. **Utilização do pó de pedra basáltica em substituição à areia natural do concreto**. Curso Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista – Unesp, Ilha Solteira, 2004.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

PIMENTA, D. S. **Produção de concreto convencional com a utilização de pó de brita**. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2012.

PINTO, E. N. M. G. et al. **Influência da granulometria do agregado miúdo nas propriedades do concreto**. Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais – CBECiMat, Natal, n. 22, p. 1790 – 1798, Nov. 2016.

PRUDÊNCIO, WALMOR J. A durabilidade da construção é fator de custo. In: ENTAC – Encontro nacional de tecnologia do Ambiente construído – Qualidade e tecnologia na habitação, II. Anais... Rio de Janeiro, novembro, 1995.

SÁ, M. V. V. A. **Influência da substituição de areia natural por pó de pedra no comportamento mecânico, microestrutural e eletroquímico de concretos**. 140 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.

SANTOS, ALTAIR. **Concreto**. Cimentoitambe.com.br. 29/09/2014. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/gestao-do-concreto-na-obra/>> Acessado em: 29/08/2018.

SITE CIMENTOITAMBE.COM.BR. **Concreto**. 29/09/2014. Disponível em <<http://www.cimentoitambe.com.br/gestao-do-concreto-na-obra/>> Acessado em: 29/08/2018.

VIACELLI, L. **Estudo da viabilidade da utilização do agregado miúdo britado em concreto convencional**. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2012.

WEIDMANN, D. F. **Contribuição ao estudo da influência da forma e da composição granulométrica de agregados miúdos de britagem nas propriedades do concreto de**

cimento Portland. Dissertação (Mestrado) – Programa de pós graduação em Engenharia Civil, PPGECC da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.