



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

RAIMUNDO NONATO PEREIRA RODRIGUES

**AVALIAÇÃO DA INCORPORAÇÃO DE PÓ DE PEDRA NA RESISTÊNCIA À
COMPRESSÃO DO CONCRETO**

PAU DOS FERROS - RN

2019

RAIMUNDO NONATO PEREIRA RODRIGUES

**AVALIAÇÃO DA INCORPORAÇÃO DE PÓ DE PEDRA NA RESISTÊNCIA À
COMPRESSÃO DO CONCRETO**

Trabalho final apresentad à Banca Examinadora do
Curso Engenharia Civil, da Universidade Federal
Rural do Semi-Árido em cumprimento às exigências
legais como requisito parcial à obtenção do título de
Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr José Flávio Timóteo Júnior
Coorientador: Prof. Dr. Cláwsio Rogério Cruz de Sousa
(UFERSA – Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros)

PAU DOS FERROS – RN

2019

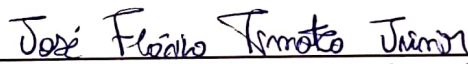
RAIMUNDO NONATO PEREIRA RODRIGUES

**AVALIAÇÃO DA INCORPORAÇÃO DE PÓ DE PEDRA NA
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO**

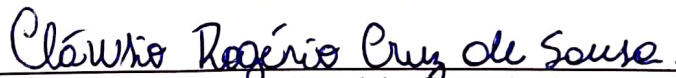
Relatório final, apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi
Árido, como parte das exigências para a
obtenção do título de Engenheiro Civil

Pau dos Ferros, 22 de março de 2019.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. José Flávio Timóteo Júnior
Presidente



Prof. Dr. Cláudio Rogério Cruz de Sousa
1º Examinador



Prof. Dr. Matheus Fernandes de Araújo Silva
2º Examinador

© 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.

R696a Rodrigues, Raimundo Nonato Pereira.
AVALIAÇÃO DA INCORPORAÇÃO DE PÓ DE PEDRA NA
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO / Raimundo
Nonato Pereira Rodrigues. - 2019.
48 f. : il.

Orientador: José Flávio Timóteo Júnior .
Coorientador: Cláwsio Rogério Cruz de Sousa.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2019.

1. Concreto. 2. Pó de pedra. 3. Resistência à
compressão. 4. Sustentabilidade. I. Timóteo Júnior
, José Flávio , orient. II. Sousa, Cláwsio
Rogério Cruz de , co-orient. III. Título.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor,
mas lutei para que o melhor fosse feito.
Não sou o que deveria ser, mas graças a Deus,
não sou o que era antes”.

Marthin Luther King

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, a minha mãe pelo apoio que sempre deu, e a todos da minha família que sem ela eu nada seria, como também aos amigos que compartilharam em todos os momentos deste trabalho, as dificuldades e alegrias vividas, sintam-se presentes.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por dar essa oportunidade maravilhosa, de realizar este trabalho.

A minha mãe pelo infinito amor, pela compreensão nos momentos mais difíceis, por seus gestos de carinho e afeto, no qual não mediu esforço, para que chegasse até aqui.

Aos colegas, familiares e amigos ufersianos (sintam-se citados aqui), pelo companheirismo, conhecimentos e MUITOS risos compartilhados.

Ao meu amigo Alexsandro Linemberg (Neguin) pela escolha e doação do tema estudado neste TCC. O mundo precisa de mais pessoas como você.

Aos amigos do “Pois Valeu” (Brenda Cibelly, Jessyka Bruna, Silvana Maia, Coroline Araújo, Evani Maia, Monaliza Nunes, Monize Nunes, Anderson Brayan), e a Turma 2012.2 pelos conhecimentos proporcionados.

Aos amigos Vidal Júnior, Ruana Rafaela e Samara Barros pelo incentivo de sempre.

Aos meus amigos de longa data que sem eles, e sua ajuda eu aqui não chegaria, Kátia Ribeiro e João Marcos, pelo apoio e ajuda na minha vida.

Ao meu orientador José Flávio pela oportunidade e privilégio de ser seu orientando, além da paciência, compromisso e companheirismo.

A meu coorientador Clawsio Rogério pela essencial ajuda, paciência e compromisso.

A todos os professores que fizeram parte da minha formação do curso e a UFERSA.

A todas as pessoas, que colaboraram direto ou indiretamente para a realização deste trabalho.

Enfim, serei grato, a todos vocês!

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Seção polida de um corpo de prova de concreto com areia natural.....	36
Figura 2	–	Seção polida de um corpo de prova de concreto com pó de pedra.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Composição dos principais tipos de cimento Portland no Brasil.....	21
Tabela 2	–	Requisitos físicos e mecânicos que deve apresentar o cimento Portland em estudo...	37
Tabela 3	–	Características físicas da areia natural.....	38
Tabela 4	–	Características físicas do pó de pedra adquirido.....	38
Tabela 5	–	Características físicas da brita adquirida.....	39
Tabela 6	–	Abatimento dos concretos fabricados.....	40
Tabela 7	–	Absorção do concreto em seu estado endurecido.....	40
Tabela 8	–	Índices de vazios do concreto em seu estado endurecido.....	41
Tabela 9	–	Resistência à compressão do concreto em seu estado endurecido.....	41

RESUMO

O concreto hoje em dia é considerado o material da construção civil mais utilizado no mundo. Nesse contexto a busca contínua por desenvolver concretos mais sustentáveis. A pesquisa se deu por um comparativo entre o concreto convencional e a substituição do agregado miúdo (areia) por pó de pedra. No decorrer da pesquisa, foram realizados ensaios de caracterização dos materiais constituintes do concreto, bem como do pó de pedra. O traço composto a partir dessa caracterização dosado no método ABCP, apresentou a composição unitária de 1:1,72:2,43:0,48. Foram produzidos 36 corpos de prova, a serem realizadas ensaios no estado fresco e endurecido. Os concretos com pó de pedra exibiram uma diminuição da absorção de água em 4,11%, 5,71% e 15,38% nas idades de 01, 03 e 07 dias respectivamente quando comparado ao convencional. Apresentando também melhor desempenho obtendo um aumento de 14,78% de sua resistência à compressão com relação ao concreto convencional na idade de 7 dias. Mostrando resultados satisfatórios, comprovando uma melhoria do concreto com um aumento da resistência pelo uso do pó de pedra.

Palavras-chave: Concreto, Pó de pedra, Resistência à compressão, Sustentabilidade

ABSTRACT

O actual hoje em dia é considerado o material da construção civil mais utilizado no mundo. This context persistence for develop concretos mais sustentáveis. The research was based on a comparison between conventional concrete and the replacement of the aggregate (sand) by stone powder. In the course of the research, characterization tests were carried out on the constituent materials of the concrete, as well as stone powder. The composite trace from this characterization, measured in the ABCP method, presented the unit composition of 1: 1.72: 2.43: 0.48. Thirty-six specimens were produced, to be carried out in the fresh and hardened state. The concrete with stone powder exhibited a decrease in water absorption of 4.11%, 5.71% and 15.38% in the ages of 01, 03 and 07 days respectively when compared to conventional ones. Also presenting better performance obtaining a 14.78% increase of its compressive strength compared to conventional concrete at the age of 7 days. Showing satisfactory results, proving an improvement of the concrete with an increase of the resistance by the use of stone powder.

Keywords: Concrete, Stone powder, Compressive strength, Sustainability

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
2.1. GERAL	15
2.2. ESPECÍFICOS	15
3 REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1. ESTRUTURAÇÃO DO CONCRETO	17
3.1.1. Macroestrutura do concreto	17
3.1.2. Microestrutura do concreto	18
3.2. MATERIAIS UTILIZADOS NA PREPARAÇÃO DE CONCRETO	19
3.2.1. Cimento Portland.....	19
3.2.2. Agregado	21
3.2.3. Água	21
3.2.4. Aditivos	22
3.3. PROPRIEDADES DO CONCRETO	23
3.3.1. Estado fresco	23
3.3.2. Estado endurecido.....	24
4 PÓ DE PEDRA	27
5 METODOLOGIA DA PESQUISA.....	29
5.1. CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS	29
5.1.1. Cimento.....	30
5.1.2. Agregado miúdo	30
5.1.3. Agregado graúdo.....	31
5.1.4. Água	31
5.2. PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL	31
5.3. MOLDAGEM, DOSAGEM, PRODUÇÃO E CURA DOS CORPOS DE PROVA DO CONCRETO	32
5.4. DETERMINAÇÃO DOS ENSAIOS DO CONCRETO	33
5.4.1. No estado fresco	33
5.4.2. No estado endurecido.....	34
FLUXOGRAMA	35
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
6.1. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS	36
6.1.1. Cimento Portland.....	37
6.1.2. Agregado miúdo (areia).....	37
6.1.3. Agregado miúdo (pó de pedra)	38
6.1.4. Agregado graúdo.....	39

6.2. CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO.....	39
6.2.1. Ensaio de consistência	39
6.2.2. Ensaio de absorção e porosidade.....	40
6.2.3. Ensaio de resistência à compressão	41
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	43
8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

1 INTRODUÇÃO

O concreto é um dos materiais mais consumidos no mundo, sendo um material construtivo com elevado grau de utilização, encontrado aplicado em diferentes formas construtivas. De modo que, o Brasil é um dos maiores produtores de cimento Portland, um dos componentes do concreto, que tem como principal contraponto do crescimento econômico gerado por essa indústria é a respeito dos impactos ambientais gerados principalmente pela etapa de clínquerização que se interligam a alto consumo de energia e alta liberação de CO₂ no meio atmosférico (MAURY, 2012).

No intuito de reduzir o consumo de recursos naturais, visto que a indústria da construção civil é uma das maiores consumidoras de matéria-prima natural, pesquisas tem sido realizada em universidades e nas indústrias de todo o país, na tentativa de substituição de agregados e/ou aglomerantes do concreto por meio de reaproveitamento de resíduos descartáveis em matéria-prima, como também a busca por melhorias na produção do concreto.

O trabalho busca a incorporação de um subproduto da britagem de rochas para a obtenção de brita, a qual também vem sendo utilizada na indústria da construção civil e utilizada como agregado graúdo do concreto. Esse subproduto é em muitos casos descartado em pátios dos britadores ou sua procura é ainda sinônimo de questionamentos. Cabe salientar que o concreto necessita de uma dosagem bem definida e que uma das utilidades do agregado miúdo no concreto é o preenchimento do vazio deixado pelos componentes maiores na mistura.

A cadeia produtiva a qual está inserida a construção civil consome uma parcela considerável dos recursos naturais retirados da natureza, devido ao grande crescimento que o setor da construção tem alcançado nessas últimas décadas, até mesmo com uma redução nos últimos anos, devido ao aumento dos juros, e a alta na inflação culminando numa crise que deu início a paralisações em várias obras paradas, o seu consumo se manteve notável. Sendo preciso um número maior de matérias-primas para suprir as demandas para um número expressivo de construções em todo o Brasil, o que por consequência acarreta a retirada de areia de rio (agregado miúdo) usado na obtenção de materiais que compõem as técnicas de construção mais utilizadas no país. Atrelado a isto, está a redução do custo na produção desses materiais, quanto a busca por novas alternativas que não comprometam as características padrões.

Há alguns anos vem sendo discutido a busca por materiais mais sustentáveis as quais amenizem a retirada de matéria prima da natureza e que por sua vez melhore a sua qualidade deixando-os também mais econômicos. Com o assoreamento dos rios, descarte de resíduos

sólidos inadequados e inúmeras retiradas inadequadas de areia dos rios para ao setor de construção, e compreendendo que esses eventos estão interligados a problemas hídricos, que surge a busca por materiais que melhore o uso desordenado desse recurso.

Nessa perspectiva, de minimizar os impactos, há também a prerrogativa do cenário atual de pesquisas de reciclagem de resíduos que dentre eles, destaca-se o material da obtenção natural dos processos de britagem (pó de pedra) retido em pátios de britadores sem o descarte inadequado, que se busca o seu reaproveitamento como agregado no concreto verificando sua qualidade e reduzindo custos, bem como melhorando características mecânicas, desempenho e durabilidade. Com esse desígnio que se procura analisar o uso do pó de pedra produzido em pedreira local, corroborando com pesquisas e aprofundamento do tema na região, na busca do que seria um “concreto sustentável” e por futuras necessidades, proporcionado o uso demasiado dos recursos.

2 OBJETIVOS

2.1. GERAL

- ✓ Estudo e viabilidade técnica do uso do pó de pedra no concreto como agregado miúdo com o modo convencional.

2.2. ESPECÍFICOS

- ✓ Verificar a qualidade do pó de pedra através de caracterização física em comparação as características da areia no concreto;
- ✓ Analisar a resistência mecânica do concreto com a adição do pó de pedra na sua substituição a areia em 100%;
- ✓ Caracterizar os agregados utilizados na obtenção de um concreto com a melhor dosagem possível.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Introduzido no Brasil em meados do século XX o sistema construtivo utilizando como base o concreto armado, apresentou-se como produto patenteado sendo aplicado em reduzidas tarefas como pontes e viadutos. Em consequência do processo de urbanização ocorrido após os anos de 1930, esse material tem uma elevada produção especialmente no setor da construção civil, com inúmeras pesquisas no campo da construção, bem como no ensino da arquitetura e engenharia. Sendo o material mais conveniente tendo em vista as condições climáticas, de segurança, ser relativamente do ponto de vista econômico barato, sendo pouco exigente em sua mão de obra. (SANTOS, 2008)

A combinação do concreto armado é composta basicamente de uma pasta de agregados graúdos e miúdos, cimento, e água, com uma armadura de aço – variando a sua geometria que depende do carregamento ao qual a estrutura dimensionada irá suportar – sendo previamente montada na forma a qual irá receber o concreto. Os agregados graúdos quanto miúdos são responsáveis por dar volume e consistência. A água da mistura tem a finalidade de hidratar o cimento que por sua vez irá dar uma espécie de liga entre os materiais constituintes da mistura. (SANTOS, 2008)

As principais razões para a utilização do concreto norteiam entre a facilidade com a qual elementos estruturais de concreto podem ser obtidos, através de uma variedade de formas e tamanhos, em detrimento da sua consistência, excelente resistência à água, sendo utilizado em inúmeras obras de barragens e revestimento de canais, produzido com materiais de baixo custo e disponibilidade, manutenção baixa levando em consideração que o mesmo tem resistência a ambientes corrosivos, não precisa de tratamento superficial, com uma resistência que aumenta com o tempo e considerando uma adequada cobertura da armadura (cobrimento nominal), é resistente ao fogo.

O concreto pode ser classificado de diversas formas, como por exemplo: uso de armadura; simples (sem barras de aço); armado (com barras de aço); e protendido (cabos de aço tracionados). Em relação à resistência: baixa resistência (< 20 MPa); moderada (20 a 50 MPa); alta resistência (> 50 MPa). Já no modo de fabricação o concreto pode ser obtido de duas formas: no local da obra (manual ou em betoneira), ou dosado em central popularmente chamado de concreto usinado.

A proporção dos diversos constituintes do concreto é determinada em função das propriedades a serem atendidas como: durabilidade, trabalhabilidade, mecânica, transporte, lançamento e adensamento da mistura aglomerante. (HELENE e ANDRADE, 2010)

Conforme a NBR 8953/2015 os concretos podem ser classificados quanto a resistência à compressão aos 28 dias, sendo eles: concretos de baixa resistência aqueles com menos de 20 MPa que por sua vez é estabelecido pela NBR 6118/2014 não sendo adequado para a finalidade estrutural; concretos de resistência normal compreendidos entre 20 e 50 MPa sendo os mais utilizados; concretos de alta resistência aqueles que possuem valores maiores que 50 MPa.

A viabilidade do uso do pó de pedra retirada em uma pedreira de Parnamirim (RN) em diferentes tipos de traço de concreto foi analisado por Sá (2006) a qual comparou o desempenho de suas resistências à compressão nas idades iniciais de 3, 7 e 28 dias de concretos de categoria 20MPa e dos concretos de categoria 40 MPa. Constatando que para as proporções utilizadas na pesquisa, observou-se que com a substituição total da areia pelo pó de pedra, os concretos de categoria 40 MPa não apresentaram resultados satisfatórios. Enquanto que para os concretos de categoria de 20 MPa é notório o ganho de desempenho da resistência nos primeiros dias ao qual se deu pelo fato do efeito de colmatação dos poros ocasionados pelos finos da mistura (fíler), resultando em concretos menos permeáveis e por consequência com maiores resistências.

Um ponto de crucial atenção deve ser dado no preparo do concreto na determinação da sua resistência característica, é a quantidade de água necessária, pois, a mesma é responsável por ativar as reações químicas da mistura, visto que, quanto mais água a resistência do concreto diminuirá em consequência do alto teor de poros que surgirão na estrutura quando o excesso evaporar, e se for menor que a ideal a reação de transformação do cimento em pasta aglomerante não irá ocorrer.

3.1. ESTRUTURAÇÃO DO CONCRETO

O estudo do concreto pode ser dividido em dois tipos de estruturas. Aos quais tem influência significativa na sua durabilidade.

3.1.1. Macroestrutura do concreto

Podemos notar após o endurecimento do concreto a olho nu, os seus maiores constituintes como sendo a pasta de cimento Portland, e os agregados graúdos.

Para MEHTA E MONTEIRO (1994), o concreto é um material poroso, tendo uma estrutura bastante complexa constituído de três fases distintas como a pasta de cimento Portland, o agregado graúdo e a zona de transição (ocorre entre a pasta de cimento e o agregado). Sendo

esta última de importância relevante devido a influência das propriedades mecânicas do concreto e na sua durabilidade estarem ligadas ao fato dela ser um ele fraco.

3.1.2. Microestrutura do concreto

A elaboração de modelos realistas da microestrutura do concreto é muito difícil, devido a sua alta complexidade e heterogeneidade, a partir do qual o poderia ser previsto o seu comportamento com uma confiabilidade elevada. As propriedades dos constituintes do concreto são cruciais, bem como da microestrutura e da relação entre eles, serve no auxílio para controlar as suas propriedades. A sua microestrutura em um sólido é composta pelo tipo, quantidade, forma, tamanho e a distribuição das fases presentes.

Há uma composição mais complexa composta de três fases compreendendo sobre as partículas de agregados, aos quais podem conter inúmeros minerais além de microfissuras e vazios, a matriz da pasta de cimento e a zona de transição no concreto podem apresentar diferentes tipos e quantidades de fases sólidas e microfissuras.

Na fase agregado, a qual é responsável pela massa unitária módulo de elasticidade e da estabilidade dimensional do concreto, sendo mais resistente que as outras fases. As características mais importantes são as físicas, tais como volume, distribuição e tamanho dos poros. A pasta de cimento possui quatro tipos de fases que podem ser analisadas por microscópio eletrônico apresentada a seguir: Silicato de cálcio hidratado (CSH) com 50 a 60%, Hidróxido de cálcio (C-H) com 20 a 25%, Sulfoaluminatos de cálcio (etringita) de 15 a 20% e grãos de clínquer não hidratados possuindo apenas alguns grãos.

Os vários tipos de vazios presentes na pasta têm importante influência em suas propriedades. O espaço interlamelar no C-S-H é bastante pequeno, entretanto as pontes de hidrogênio podem nesses pequenos vazios reter água, que sob certas condições pode contribuir para a ocorrência da retração por secagem no concreto. Por sua vez os vazios capilares são representados pelos vazios não preenchidos pelos componentes sólidos da pasta de cimento, podendo ser expressos pelo seu grau de porosidade. Os macroporos tem função importante na determinação da resistência e impermeabilidade característica, ao passo que vazios menores que 50 nm ou microporos, têm função crucial na retração por secagem e na fluência. Os vazios de ar incorporado na pasta são esféricos, e variam entre 50 e 200 μm , já o ar aprisionado pode chegar a 3 mm, sendo maiores que os vazios capilares ao qual podem afetar de forma negativa a resistência.

A água na pasta de cimento hidratada pode existir de diversas formas, sendo classificada de acordo com a facilidade ou dificuldade a qual possa ser removida. Para a água capilar, a qual é denominada como o volume de água livre na qual está relacionada as forças de atração exercidas pela superfície sólida, está presente em vazios maiores que 50 Å. já a água adsorvida se encontra próxima a superfície do sólido, da qual sua perda se origina o fenômeno da retração. Na água interlamelar cuja estrutura é associada com a estrutura do C-S-H, é perdida somente por forte secagem, sendo que após a sua perda no sólido, a estrutura do C-S-H se retrai. Esses aspectos na pasta de cimento são cruciais para a engenharia, devido ao fato das características desejáveis do concreto no estado endurecido (resistência e durabilidade) serem influenciadas não somente pela proporção, mas também de suas propriedades, que por sua vez estão interligadas as características microestruturais citadas anteriormente sobre classificação dos sólidos e vazios.

Contudo, para uma melhor resistência do material, uma combinação da relação água/cimento e o grau de hidratação determinam a porosidade da pasta de cimento hidratada, estando tanto ela quanto o seu oposto, pertinentes a resistência e permeabilidade do concreto. Para a questão da durabilidade, a pasta é alcalina sendo prejudicial a sua exposição a águas ácidas, tornando a impermeabilidade um fator crucial para uma boa durabilidade. Por isso, surgem inúmeras dúvidas no que se refere as zonas de transição – interface que existe entre as partículas grandes do agregado e a pasta de cimento hidratada – visto que são compostas pelo mesmo elementos que a pasta constituindo as propriedades diferentes entre a interface e a da matriz. Sendo na interface o elo mais fraco, considerada a fase mais limitante da resistência do concreto sendo eles o volume de vazios e microfissuras presentes possibilitam grande influência na rigidez, modulo de elasticidade e durabilidade do concreto (Neville e Brooks, 2013).

3.2. MATERIAIS UTILIZADOS NA PREPARAÇÃO DE CONCRETO

3.2.1. Cimento Portland

Cimento é uma palavra originária do Latim *Caementum*, a qual significa união. É composto por aglomerante hidráulico constituído de clínquer, gesso e adições que em contato com a água tem a capacidade de endurecer e adquirir resistência, conservando essa propriedade mesmo submerso (ABCP,2002).

O cimento é tido como o material de construção mais utilizado em todos esses anos. Sendo denominado como sendo um pó fino com propriedades aglomerantes, sendo endurecido

após entrar em contato com água, não sendo possível se decompor novamente, mesmo com adição de mais água. De acordo com o guia básico de utilização de cimento Portland produzido pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) admitindo medidas para que todos aqueles que utilizam esse material possam conhecê-lo de maneira mais acessível, quanto a sua durabilidade, matéria prima, produção, tipos e cuidados com a dosagem, além do seu histórico (ABCP,2002).

O cimento em dosagem adequada e com outros materiais como areia, brita, cal, água, e aditivos, resultam em concreto ou argamassa dependendo de como sejam combinados esses materiais, aos quais usados na construção civil, em vários itens dos quais os mais utilizados sejam as casas, edifícios, pontes, viadutos, pisos etc. O cimento é o material mais importante na busca das características ideais para a transformação da mistura em concreto, buscando um produto seja ele uma laje, um revestimento, um piso, um pilar ou uma viga, de boa qualidade sendo crucial a sua correta dosagem e utilização.

A ABCP segue as especificações da *Associação Brasileira de Normas Técnicas* (ABNT), as quais são elaboradas com o objetivo de regulamentar a qualidade, classificação, a produção e emprego dos diversos materiais, transferindo o selo de qualidade as empresas produtoras de cimento Portland na busca por produtos de qualidade. Existe no Brasil diferentes tipos de cimento Portland em função de sua composição. Na Tabela 1 encontra-se os principais tipos em função da sua composição.

Tabela 1 – Composição dos principais tipos de cimento Portland no Brasil

Composição (% em massa)					
Tipo de cimento Portland	Sigla	Clínquer + gesso	Escória granulada de alto-forno (sigla E)	Material pozolânico (sigla Z)	Material carbonático (sigla F)
Comum	CP I	100	-	-	-
	CP I S	99-95	-	1- 5	-
Composto	CP II E	94-56	6-34	-	0-10
	CP II Z	94-76	-	6- 14	0-10
	CP II F	94-90	-	-	6-10
Alto-forno	CP III	65-25	35-70	-	0-5
Pozolânico	CPIV	85-45	-	15- 50	0-5
Alta resistência inicial	CP V-ARI	100-95	-	-	0-5

Fonte: Adaptado do Guia básico de utilização do cimento Portland, 2002.

3.2.2. Agregado

Os agregados são materiais granulares, naturais ou artificiais, de dimensões e propriedades adequadas para uso na engenharia, e são amplamente utilizados na construção civil, comumente utilizado na produção do concreto, um material para a utilização em construções, ao passo que os mais conhecidos sejam a brita e areia ocupando cerca de 75% a 85 % do volume de concreto. Verificando assim, uma crucial importância do conhecimento de certas propriedades pertencentes a esses materiais se torna praticamente uma exigência para a dosagem correta do concreto em construções de edificações buscando uma melhoria na qualidade e segurança desse material.

Os agregados possuem inúmeros usos na engenharia na produção de argamassas e concretos, base para pavimentação, drenos, lastros de ferrovias e gabiões. O agregado gráúdo mais utilizado no concreto é a brita, possuindo numerações e empregabilidades diferentes, são determinantes para um bom desempenho e economia desse material, pela grande quantidade de volume que o mesmo ocupa. Sua extração acontece em pedreiras onde é feito a perfuração na rocha para colocação de explosivos e logo mais o desmonte, sendo transportado em caminhões com caçamba basculante, que será posta em centrais de britagem para produção e classificação do agregado.

Agregados miúdos segundo a ABNT NBR 7211/09 são aqueles cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha 4,75 mm, realizado de acordo com ensaio da ABNT NBR NM 248, enquanto que agregados gráúdo se refere a grãos com dimensões entre 4,75 mm e 75 mm. Para agregados miúdos a forma de obtenção natural é por meio de extração a céu aberto em cavas, rios ou minas. Sendo a mais comum na região a extração realizada em rios causando-o um maior assoreamento devido a retirada sem o devido controle. Na extração por cavas há a remoção da camada de terras orgânicas, e depois a areia passa pelo processo de peneiramento classificando o material, que por fim é feita a lavagem para remoção de matéria orgânica e material pulverulento, causando problemas ambientais cada vez maiores.

3.2.3. Água

A importância da qualidade da água na mistura do concreto fica evidente ao passo que devido a eventuais impurezas que possam estar contidas, elas podem interferir na pega do cimento, afetar negativamente a resistência do concreto, causar manchas de sua superfície, ou até mesmo levar a corrosão das armaduras, podendo gerar eflorescência, ou seja, depósitos de

sais brancos na superfície do concreto causando a corrosão da armadura e do aço protendido. Neville e Brooks (2013)

Desta forma, a ABNT NBR 15900-11/2009, que trata sobre água para amassamento do concreto no item das generalidades traz uma nota ao qual a água potável, no qual é atendida à portaria nº 518 do Ministério da Saúde, pode ser utilizada se restrição para preparo do concreto. Retrata também que a água de abastecimento público é considerada adequada para o uso sem necessitar ser ensaiada, bem como sobre outros tipos de água a serem utilizados.

Segundo Neville e Brooks (2013), como regra, o pH adequado para qualquer que seja a água utilizada, deve estar entre 6,0 e 8,0, não constando de sabor salino ou salobro tratando de considerar aspectos como qualidade, quantidade de água por unidade de volume de concreto, relação água/cimento, sendo consideradas a água diretamente relacionada (líquido e gelo) como também a água contida nos aditivos químicos, e as aderidas aos agregados.

Nessa prerrogativa de uma determinada relação água/cimento, elevados abatimentos tendem a exsudar o concreto tornando-o menos resistente, e com isso apresentam um baixo custo-benefício. Devendo haver quantidade de água suficiente para que a hidratação do cimento seja completa fazendo com que as reações se processem integralmente, afim de formar uma microestrutura compacta, propiciar resistência e durabilidade.

Para MEHTA (2014), a água costuma ser fator central para aos problemas de durabilidade no concreto. Na perspectiva de que ao contrário das rochas naturais e minerais, o concreto é um material alcalino - devido ao fato de todos os componentes de cálcio que compõem os produtos de hidratação do cimento são alcalinos – pode-se ocorrer danos ao concreto devido ao uso de água ácida. Evidenciando que grande parte do conhecimento adquirido sobre esses processos responsáveis pela deterioração do concreto em detrimento do meio físico-químico é derivado do histórico de casos das estruturas de campo, como também de vários outros fatores.

Na prerrogativa deste mesmo fator, Neville e Brooks (2013) aborda que a água de amassamento também pode ser adequada para a cura do concreto, necessitando que a mesma seja isenta de substâncias que ataquem o concreto endurecido citando como exemplo as águas contendo CO₂ livre, devido ao fato da cura inadequada, frequentemente, causa a falta de resistência e durabilidade adequadas.

3.2.4. Aditivos

Na busca por características as vezes encontradas em um tipo de cimento especial, uma maneira mais rotineira é a alteração do concreto feito com os tipos de cimento mais usuais

realizando uma incorporação de um determinado produto que a indústria chama de aditivos. Sendo que algumas vezes o uso desse aditivo é a única maneira a qual poderá alcançar determinada característica (NEVILLE E BROOKS, 2013).

Pela definição, aditivo é qualquer material – desde que não seja, agregados, cimentos hidráulicos ou fibras – usado como ingrediente do concreto ou argamassa e adicionado à massa imediatamente antes ou durante a mistura. Dessa forma, podendo modificar as propriedades do concreto tanto no estado fresco quanto no endurecido, alavancando o crescimento da indústria de aditivos. Tendo a finalidade de reforçar ou melhorar certas características, facilitando seu preparo e utilização.

Os aditivos mais comumente utilizados, tem a função de reduzir o consumo de água, modificar a pega, melhorar a trabalhabilidade, aumenta a resistência, melhora a durabilidade. Possuem diversos tipos, entre eles os plastificantes, retardadores, aceleradores, plastificante e retardador, plastificante e acelerador, incorporadores de ar superplastificantes, hiperplastificantes inibidores de corrosão, expansores e impermeabilizantes. Tendo suas principais aplicações direcionadas a concreto auto adensável, centrais dosadoras, recuperação de estruturas, concreto de alto desempenho, concreto projetado, redução do calor de hidratação, ambientes agressivos, entre outros, levando-se em consideração para o emprego adequado, ao qual o engenheiro irá analisar para se ter um concreto ou outro material de excelência, para o uso ao qual foi designado, algumas recomendações gerais se podem determinar, entre elas, a não utilização para correção de defeitos próprios do concreto, não ultrapassando o seu valor recomendado de 2%, seguindo sempre a recomendação do fabricante, sendo necessário a utilização de ensaios, visto que variam de acordo com cada obra, respeitando as incompatibilidades que por ventura possa ocorrer de utilizar mais de um aditivo no mesmo concreto (NEVILLE E BROOKS, 2013).

3.3. PROPRIEDADES DO CONCRETO

3.3.1. Estado fresco

O controle tecnológico do concreto vai além das suas características no estado endurecido, visto que, há fatores que influenciam significativamente como o seu transporte até o elemento estrutural ao qual se deseja executar, consistência e coesão aos quais leva em conta as características dos materiais empregados. Em uma obra o engenheiro deve ter em mente que além da resistência para o qual o concreto deve atender, ele deve atender a inúmeros requisitos

dos quais a trabalhabilidade (grau de facilidade com que o concreto pode ser preparado e aplicado em obra) é um fator determinante para que a equipe de colaboradores tenham um bom desempenho na hora de transportar, lançar e adensar determinado concreto.

A consistência do concreto a qual está diretamente relacionada com as suas características, mobilidade da massa e coesão entre os seus componentes é fator influenciador da trabalhabilidade do concreto, sendo uma característica do concreto recém-misturado que irá determinar a facilidade e o grau de homogeneização com o qual esse material pode ser empregado.

O *Slump Test*, como é mais bem conhecido o ensaio de abatimento do concreto, é realizado para verificar a trabalhabilidade do concreto no seu estado plástico, buscando verificar se o mesmo está adequado para o que foi proposto. Contudo, deve-se ficar ciente dos fatores que afetam a trabalhabilidade: consumo de água; consumo de cimento; características dos agregados e aditivos e adições. Misturas com consistência muito fluida tendem a segregar e a exsudar, afetando adversamente o acabamento da estrutura. Já misturas muito secas podem ser difíceis de lançar e adensar, sendo que pode haver segregação do agregado na etapa de lançamento. Deste modo, o consumo de cimento Portland assim como o da água a sua redução pode produzir misturas ásperas com um acabamento arriscado e o seu excesso no concreto causa excelente coesão. As areias mais finas por sua vez necessitam de mais água para poder atingir a sua consistência, podendo produzir misturas ásperas e de trabalhabilidade duvidosa. No que tange aos aditivos e adições quando se mantém constante o uso de água a sua incorporação aumenta o seu abatimento.

Outro fator influenciador das propriedades do concreto fresco, é o tempo de pega do concreto, considerado como o intervalo de tempo desde a adição de água até o momento no qual o concreto não pode ser mais trabalhado. Tendo influência direta da temperatura do concreto, ambiente, como também o tipo de cimento a ser empregado, relação água cimento, utilização de aditivos e contaminação dos agregados.

3.3.2. Estado endurecido

A resistência de um material é medida pela capacidade do mesmo de responder a solicitações, sendo a propriedade do concreto mais controlada. Está ligada a porosidade do material, pois, quanto mais poroso esse material se apresentar, menor será a sua resistência apresentada. Algumas causas podem ser enumeradas, como o mal adensamento do concreto, tendo uma alta relação água cimento (a/c), e/ou sendo mal proporcionado.

A lei de Abrams foi experimentalmente demonstrada que a resistência do concreto dependia das propriedades da pasta endurecida, que por sua vez, era função do fator água/cimento (a/c), sendo estabelecida através do tipo de cimento, não considerando a influência do agregado.

A medição da resistência a compressão do concreto no Brasil, é avaliada por meio de corpos de prova padronizados e prensas apropriadas seguindo a NBR 5739/2018, que aborda sobre os parâmetros necessários para ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos, conforme a NBR 5738/2015 de procedimentos para moldagem e cura de corpos de prova.

A cura é uma das etapas para um bom desempenho do alcance da resistência esperada para o material. A cura inicial do concreto de corpos de prova cilíndricos é durante 24 horas e para os prismáticos são de 48 horas. Antes de serem armazenados os corpos de prova devem ser identificados. Após isso, os corpos de prova devem ser armazenados até o instante do ensaio em câmara úmida à uma temperatura entre 23 ± 2 °C com umidade relativa do ar em torno de 95%, não devendo ficar sob ação de gotejamento ou movimentação de água.

Para a realização do ensaio é necessário a retificação, remate e capeamento dos corpos de prova cilíndricos. Primeiramente é feita a retificação que de acordo com a NBR 5738 (2015), consiste na remoção, por meios mecânicos de uma fina camada de material do topo a ser preparado. Sendo executada em maquinário especializado nessa finalidade. O remate que é a etapa seguinte ao momento da moldagem tendo decorridos de 6 a 15 horas do momento da moldagem, é recomendado passar uma escova de aço sobre o topo do corpo de prova e rematá-lo com uma fina camada de cimento consistente, com espessura menor que 3 mm, tendo que ser preparada antes do seu emprego cerca de 2 a 4 horas, sendo realizada em seguida o acabamento dos topos dos corpos de prova realizados com auxílio de uma placa de vidro plana. O capeamento consiste no revestimento desse topo com uma fina camada de material apropriado.

A idade de verificação da resistência desses corpos de prova é normalmente feita na idade de 28 dias a partir da moldagem, conforme a NBR 5739/2018, sendo que, também irá depender das características de cada tipo de cimento Portland. A verificação é feita aos 28 dias devido a hidratação do cimento atingir níveis próximos ao máximo. Sendo possível fazer o acompanhamento em outras idades – 1, 3, 7, 14, 21 dias. O cimento CPV – ARI – Cimento Portland de alta resistência inicial tem a peculiaridade de atingir altas resistências, nos seus primeiros dias de aplicação, sendo muito utilizado em estruturas necessitem chegar a elevadas resistências com maior velocidade, como na indústria de pré-moldados, piso industrial, e na

aplicação da protensão, normalmente atingindo sua resistência almejada aos 7 dias de idade podendo ser analisado sua resistência a compressão nas idades de 1, 3 e 7 dias.

Contudo, há alguns fatores que influem na medição da resistência, como a velocidade de carregamento, dimensões dos corpos de prova e controle da resistência característica. Caso aumentando a velocidade de carregamento, tem-se um acréscimo nos valores obtidos, sendo que a microfissuração tem menos tempo para se propagar, pois a medida que esse processo for mais lento, menor será o valor da resistência. No controle da resistência característica na prática verifica-se mesmo que os corpos de prova sejam moldados da mesma forma, pelo mesmo laboratorista, mesma cura, e ensaiados na mesma idade os resultados apresentados na sua resistência não devem ser idênticos, visto que as grandezas envolvidas em um projeto estrutural não têm valor exato, pois trabalha-se com conceitos probabilísticos. Mostrando que o controle na produção do concreto é fator crucial para um desempenho adequado do material, visto que, quanto maior for esse controle, menor será a variação na resistência.

4 PÓ DE PEDRA

Fragmentos de rochas são pedaços de rocha intacta, que são provenientes da desagregação natural, como os agentes do intemperismo, ou artificial devido a um processo mecânico qualquer. Os agregados são os fragmentos de rochas, comumente utilizados na maioria de obras de infraestrutura civil. Esses materiais podem ser blocos, pedras, cascalhos, pedregulhos, seixos rolados, britas, pedriscos, areias e pó de pedra, podendo variar a sua faixa de tamanho. Nesse tocante, esses agregados provenientes de rochas, herdarão a mineralogia e muitas das propriedades físicas e mecânicas da sua rocha mãe, a qual foram obtidos. (FARIAS E PALMEIRA, 2007)

O pó de pedra é o material resultante da britagem das rochas para a produção de brita. Esse resíduo é comumente encontrado nos pátios de britadores. A nomenclatura mais utilizada é o pó de pedra, porém, existem mais nomes atribuídos a esse material, como: pó de brita, areia artificial e finos de britagem. Há em alguns estudos a discrepância com relação a sua granulometria, e o teor e a origem do material pulverulento presente na sua constituição, que podem ser determinantes aonde e em qual finalidade esse material pode ser empregado como agregado em concretos para variadas resistências. Por isso, o conhecimento das características dos agregados é de fundamental importância para uma dosagem de concretos adequada ao tipo de estrutura a se construir, ou em outras estruturas de engenharia que se tenha interesse. O pó de pedra é utilizado em camadas de revestimento asfáltico podendo ser a mistura entre ele e areia, em proporções variadas, tendo algumas especificações a serem cumpridas, sendo uma delas, livre de torrões de argila ou substâncias nocivas.

Em estudos realizados por MENOSSI et al. (2004), com relação a substituição da areia pelo pó de pedra na confecção de concretos com fck entre 15 e 40 MPa, e traço base de 1:3:3 em massa, com variação das porcentagens utilizadas de 25%, 50%, 75%, e 100%, cimento CP II F 32, com as análises determinadas constataram que essas substituições não comprometeram os diferentes níveis de resistência do concreto, nem a sua trabalhabilidade.

Corroborando com o citado acima, a substituição do pó de pedra por areia utilizada por BASTOS, (2003), contou com porcentagens de 15%, 30%, 50%, 70% em massa. Em sua pesquisa utilizou dosagem de traços 1:2,034:3,022 e 1:3,22:4,22. Observou que o melhor comportamento foi na mistura de 70%, mostrando valores maiores da resistência a compressão axial se apresentaram à medida que foram sendo acrescido nas amostras um teor maior de pó de pedra, dando prerrogativa ao aumento progressivo da substituição. A respeito da

durabilidade o autor concluiu que a substituição gerou diminuição na absorção de água e, por conseguinte reduziu a permeabilidade.

5 METODOLOGIA DA PESQUISA

O desenvolvimento deste trabalho baseou-se em pesquisa exploratória, a base conceitual foi orientada com o método dedutivo no que se refere à consolidação do referencial teórico, revisão bibliográfica, representação, interpretação, informações e elaboração do texto.

Com a pesquisa qualitativa buscar-se-á a compreensão da viabilidade do material, estudo e levantamento das dosagens de incorporações do pó de pedra na mistura de concreto, comparando parâmetros como compressão, resistência e a análise do comportamento do aumento do pó de pedra. Sendo realizados procedimentos como revisão bibliográfica e levantamento de dados em fontes primárias e secundárias contemplando: artigos, livros, textos, revistas, monografias, dissertações e tese relacionadas às questões da pesquisa.

Com base na seleção de autores que possam subsidiar o estudo, com o propósito de contemplar um embasamento teórico mais consistente e corroborar significativamente com as conclusões inferidas na finalização deste trabalho. Redação preliminar, revisão e entrega do trabalho final como contribuição para academia e a pesquisa científica na área em questão, subsidiando outros estudos e projetos a serem desenvolvidos no campo da reciclagem de pó de pedra.

Em etapa posterior de coleta e caracterização de densidade, módulo de finura e composição granulométrica, visto que, pode haver influência geológica em comparação ao tipo de rocha a qual o pó de pedra é obtido. Bem como, a caracterização dos materiais utilizados na produção do traço de concreto, segundo a ABNT NBR 7211/2009. Dosagem e produção dos concretos utilizados na pesquisa. Ensaio dos corpos de prova do concreto no modo fresco segundo ABNT NBR NM 67:1998 e endurecido pela NBR 5739:2018.

Todos os ensaios e caracterizações dos materiais empregados na fabricação do concreto foram realizados no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros, com exceção da produção dos corpos de prova e o ensaio de tronco de cone que é necessário ser feito no momento antes da confecção dos corpos de prova, foram produzidos em uma obra do campus Pau dos Ferros próximo ao laboratório de civil, visto que os corpos de prova foram produzidos neste local.

5.1. CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS

O conhecimento sobre as características dos materiais sendo imprescindível para um controle adequado do concreto, fazendo com que se possa ter uma maior qualidade, para então

atingir as necessidades esperadas para o seu uso. As propriedades dos concretos dependem necessariamente de fatores como a composição granulométrica, da forma, massa específica aparente, porosidade, e textura desses agregados. Foram seguidas as normas Brasileiras/Mercosul atualizadas disponíveis no site GEDWEB – sistema de gestão de normas e documentos regulatórios com direitos adquiridos pela UFERSA.

5.1.1. Cimento

Para a fabricação dos corpos de prova para serem realizados os ensaios, foi utilizado o Cimento Portland de alta resistência inicial CP-V ARI RS de marca Mizu Cimentos S A doado. O produto vem em sacos de 40 kg, sendo menor que os outros tipos mais comuns. Por se tratar de um cimento com maior custo de produção e consequentemente preços mais elevados. Sendo mais difícil de encontrar em todas as lojas de materiais de construção da região do alto oeste potiguar. O cimento é produzido na cidade de Baraúna – RN e produzido com um clínquer de dosagem diferenciada de calcário e argila se comparado com os demais tipos de cimento, como também uma moagem mais fina, e por isso possui um teor maior de finos. Ele foi caracterizado por sua alta resistência inicial, nas suas primeiras idades podendo atingir 26 MPa de resistência à compressão em apenas 1 dia de idade. A escolha do cimento deu-se pelo requisito de alta resistência inicial, sendo as análises feitas em um curto espaço de tempo comparados a outro tipo de cimento Portland, como também a falta de estudos com a substituição do pó de pedra com esse tipo de cimento, e a influência do pó de pedra na sua resistência nessas primeiras idades.

Esse tipo de cimento foi comumente utilizado em peças pré-moldadas, concreto protendido pré e pós tensionado, pisos industriais e argamassa armada. A caracterização do cimento não foi realizada, sendo apenas constatada pelo Engenheiro responsável pela fabricação, que o CP-V ARI RS da Mizu Cimentos S A, seguiu a norma de especificação do Cimento Portland ABNT NBR 16697/2018, na qual procedeu as tendências internacionais para a confecção do cimento.

5.1.2. Agregado miúdo

A areia foi previamente peneirada na peneira de abertura de malha 4,75 mm. O pó de pedra foi adquirido em um britador localizado na cidade de Encanto – RN, na qual faz meio de explosivos para a obtenção dos agregados. Foi feito o processo de determinação da granulometria regida pela ABNT NBR 7211/2009 sobre especificação de agregados para concreto, sendo obtidos a determinação granulométrica pela ABNT NM 248/2003, massa

específica e massa específica aparente, regidos pela ABNT NM 52/2009, massa unitária pela ABNT NM 45/2006 para ambas as amostras de areia e pó de pedra, que foram retiradas seguindo a ABNT NM 26/2009 e ABNT NM 27/2001.

5.1.3. Agregado graúdo

O agregado graúdo (brita), foi doado, tendo determinado as amostras ensaiadas da NM 26/2009, seguido os processos reduzindo as especificações da NM 27/2001, tendo assim os parâmetros desejados para a obtenção da melhor quantidade de materiais a se utilizar no traço para o concreto. Sendo feito o procedimento para determinação granulométrica pela NM 248/2003 e especificação pela NBR 7211/2009. Nas análises do agregado graúdo foi utilizado a ABNT NM 53 que trata da determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água, afim de obter a determinação do consumo dos materiais possibilitando um teor ótimo de agregado graúdo.

5.1.4. Água

A água de amassamento do concreto foi obtida na UFERSA, sendo a mesma, abastecida pela Instituição que adquire por meio de uso de carro pipa.

5.2. PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

No intuito de avaliar a utilização do pó de pedra em substituição a areia natural, foi medido o desempenho quanto aos ensaios analisados de um concreto convencional e um com relação a substituição de 100% de pó de pedra, visando a sua real utilização, na medida que em obras onde o concreto foi produzido em pequena escala, a utilização de porcentagens em meio a essa substituição se tornam inviáveis quando se analisa o tempo gasto para se medir esses materiais, bem como o gasto de tempo dos colaboradores na produção desse concreto.

Buscando representar um concreto convencional foi fixado a resistência característica (f_{ck}) de 25 MPa, procurando fazer um comparativo dos materiais empregados no estado endurecido do concreto, quanto a resistência a compressão, e a absorção e porosidade nas idades iniciais, com dosagem e apresentação do traço pelo método ABCP sendo fixado a sua consistência de 90 ± 10 mm.

5.3. MOLDAGEM, DOSAGEM, PRODUÇÃO E CURA DOS CORPOS DE PROVA DO CONCRETO

A moldagem dos corpos de prova foram realizados de acordo com a NBR 5738/2018, que trata sobre os procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. A confecção iniciou-se pelo traço referência (areia), e posteriormente com o pó de pedra, visando comparar os resultados obtidos. Os materiais foram pesados em balança com capacidade de carga de 16000 g com resolução de 0,1g marca BEL, modelo L16001. A água utilizada foi medida com o auxílio de proveta de 500 ml.

Próximo ao Laboratório de Engenharia Civil do campus, onde seriam armazenados, seguindo todas as recomendações exigidas pela norma nesse tocante. Foi utilizado realizado preparo mecânico com uso de betoneira modelo 1 Traço Super 400L com capacidade de mistura de 280 L, proporcionando uma maior produtividade e de fácil operação, sendo adequada para obras de pequeno a grande porte, buscando obter um conjunto homogêneo resultante do agrupamento interno dos agregados, aglomerantes e água. Foram adotadas regras para a avaliação da eficiência:

- Homogeneidade no concreto fabricado;
- Resistência do concreto obtido e sua dispersão;
- Velocidade de descarga;
- Menor porcentagem do material que fica aderente nas peças do tambor da betoneira, depois da descarga.

Com isso, foram seguidos os seguintes passos para a colocação dos materiais na betoneira, levando em consideração a não colocação do cimento em primeiro lugar, visto que o tambor da betoneira foi previamente molhado para não ocorrer a perda da água de amassamento para as paredes internas do equipamento – a qual foi removida em seguida – e com isso o cimento iria ficar retido nas pás, não proporcionando um aproveitamento adequado de suas características ligantes:

- Colocado a brita na betoneira ligada, visto que o fabricante não aconselha colocar os materiais com a mesma desligada;
- Adicionou-se metade da água de amassamento e foram aguardados um minuto;
- Colocou-se o cimento;
- Colocou-se a areia;
- E por último o resto da água;

- Transcorridos esses passos, foi aguardado mais três minutos com a betoneira em rotação antes de descarregar o concreto.

O adensamento dos corpos de prova foi feito da forma manual, com duas camadas contando com 12 golpes para cada uma, seguindo recomendações da NBR 5738/2015, com moldes cilíndricos de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura e feito o rasamento da superfície do concreto com a borda do molde com colher de pedreiro. Decorridos 24 horas, após o adensamento, os corpos de prova foram retirados. Para o ensaio de resistência a compressão foi tido o tempo de cura de 1, 3 e 7 dias, visto que o cimento Portland utilizado foi o CP-V ARI RS de alta resistência inicial. Após esse tempo os corpos de prova eram retirados respeitando o tempo de tolerância para cada idade dos ensaios.

Foram realizados dois ensaios, um de compressão e outro de absorção e porosidade, sendo que para cada ensaio foi moldado 3 corpos de prova de acordo com a NBR 5738/2015, para sua determinada idade de cura. Com isso, foi confeccionado ao todo 36 corpos de prova.

5.4. DETERMINAÇÃO DOS ENSAIOS DO CONCRETO

5.4.1. No estado fresco

Foi realizado o ensaio de abatimento do tronco de cone, na qual avalia a consistência e a trabalhabilidade do concreto através da medida do seu amassamento de acordo com a ABNT NM 67/1998, sendo mais comumente chamado em obras por *Slump Test*. Tendo como instrumentos utilizados para a realização do ensaio:

- Molde;
- Placa base;
- Haste de compactação;
- Régua metálica;
- E concha de seção U.

Essa norma determina que o molde e a placa sejam umedecidos, e preencher o molde com 3 camadas, sendo cada uma com aproximadamente um terço da altura do molde compactado, e adensado com 25 golpes para cada camada. A operação completa, que vai desde a colocação do concreto com a concha em U no molde, até sua retirada, deve ser realizada sem interrupções e concluído em um intervalo de 2,5 minutos.

5.4.2. No estado endurecido

5.4.2.1. Ensaio de resistência a compressão

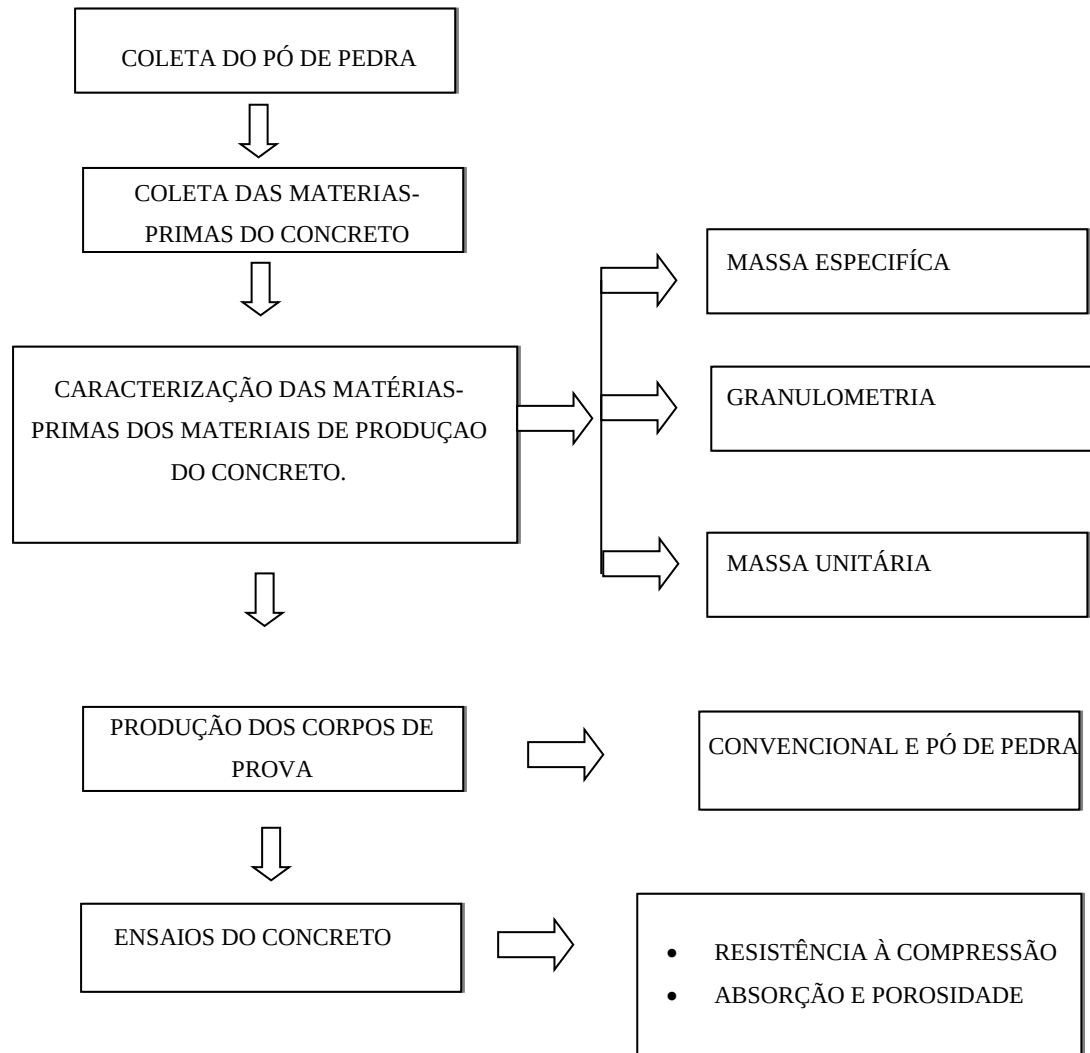
Os corpos de prova moldados e procedidos da cura foram feitos as retificações, ou seja, a remoção por meio mecânico de uma fina camada das bases formando uma superfície lisa, com total planicidade afim de não interferir na resistência potencial do concreto e, por conseguinte utilizado prensa elétrica digital para teste de compressão da marca SOLOCAP, possuindo carga máxima de utilização de 2000 kN e precisão de $\pm 1\%$. Esse ensaio é regido pela NBR 5738/2015, tendo o resultado para cada idade apresentada como a média dos valores obtidos nos 3 corpos de prova.

5.4.2.2. Ensaio de absorção e porosidade

A norma NBR 9778/2005 prescreve o ensaio para determinação da absorção de água, do índice de vazios por imersão e fervura, e das massas específicas de argamassas e concreto. Neste ensaio foram produzidos três corpos de prova para cada traço, sendo realizado em todas as idades observadas (1,3 e 7 dias), sendo realizada a permanência dos corpos de prova em estufa a $100 \pm 5^\circ \text{C}$. Em seguida, foram mantidas em imersão a água a temperatura ambiente no laboratório de engenharia civil. A etapa 6.2.3 da norma que tratou sobre a colocação das amostras depois da saturação em água ser levada a ebulição por um período de 5 horas, não pôde ser seguida por falta de equipamento no laboratório disponível para tal procedimento, sendo feita a pesagem da amostra em balança hidrostática sem esse procedimento.

FLUXOGRAMA

Para uma melhor visualização das etapas de preparação e caracterização das amostras, foi realizado um fluxograma do concreto no seu estado endurecido.



6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão abordados os resultados obtidos nos ensaios realizados, afim de obter uma melhoria da qualidade na produção de concretos mais resistentes, levando em consideração uma nova incorporação de agregado miúdo, possibilitando assim uma melhoria tanto nas suas especificações técnicas quanto no ganho com relação ao meio ambiente que se pode ter a partir dessa substituição da areia natural retirada em leito dos rios de maneira não adequada, bem como desordenada, pelo uso do pó de pedra da região analisado e constatado a sua real eficiência na produção de um concreto mais sustentável, voltado aos benefícios tanto para a construção local, em questões econômicas e ambientais, quanto de mais confiabilidade no uso desse material em concretos estruturais colaborando e propiciando possíveis pesquisas para outros tipos de concretos.

6.1. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS

Como exposto anteriormente, os resultados da caracterização desses materiais são imprescindíveis para uma correta determinação do traço para a pesquisa, a medida que um concreto de qualidade, dependente das melhores características dos materiais que o compõem.

Em consonância com todos os aspectos descritos na caracterização dos materiais realizados anteriormente e os resultados obtidos dessas análises contidas neste item de caracterização, o traço unitário obtido através do método ABCP foi nas proporções de 1: 1,72: 2,43: 0,48. Na Figura 1, está sendo exemplificado uma imagem de uma seção polida de um corpo de prova de concreto, apresentando em suas características o aparecimento da brita, areia e a mistura aglomerante e na Figura 2, uma seção com substituição da areia pelo pó de pedra na confecção do concreto.

Figura 1 – Seção polida de um corpo de prova de concreto com areia natural



Fonte: Autoria própria, (2019)

Figura 2 – Seção polida de um corpo de prova de concreto com pó de pedra



Fonte: Autoria própria, (2019)

6.1.1. Cimento Portland

O cimento Portland CP-V ARI RS da marca Mizu Cimentos S A, foi especificado pela NBR 16697/2018 e está dentro de todos os parâmetros sugeridos pela mesma, como mencionado pelo Engenheiro responsável da produtora do cimento. O mesmo disponibilizou a informação da massa específica de $3,14 \text{ g/cm}^3$ do CP-V ARI RS, como base nisso, foi necessário a correção na dosagem do concreto. Não foi possível realizar os ensaios químicos, físicos e mecânicos do cimento. Tendo apenas como base as disposições apresentadas pelo fabricante.

A referida norma estabeleceu os requisitos físicos e mecânicos que devem ser atingidos por cada tipo de cimento Portland. Na Tabela 2 estão listados os requisitos para esse tipo de cimento.

Tabela 2 – Requisitos físicos e mecânicos que deve apresentar o cimento Portland em estudo

Requisitos físicos e mecânicos de cimento Portland								
Sigla	classe	Finura	Tempo de início de pega (min)	expansibilidade a quente (mm)	Resistência à compressão (MPa)			
		Resíduo na peneira $75 \mu\text{m}$ (%)			1 dia	3 dias	7 dias	28 dias
CP V	ARI	$\leq 6,0$	≥ 60	≤ 5	$\geq 14,0$	$\geq 24,0$	$\geq 34,0$	-

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 16697/2018, 2019

6.1.2. Agregado miúdo (areia)

Utilizou-se para o concreto convencional a areia natural proveniente do leito de rios da região de Pau dos Ferros - RN, cuja distribuição granulométrica está exibida na Tabela 3.

Tabela 3 – Características físicas da areia natural

Composição Granulométrica da Areia Natural			
Abertura das peneiras ABNT (mm)	% Retida média	% Retida em massa Acumulada	Método de ensaio - NM
4,75	4	4	248/2001
2,36	8	12	
1,18	16	12	
0,6	60	88	
0,3	11	99	
0,15	1		
fundo	0		
Módulo de finura		2,31	248/2001
Dimensão máxima (mm)		4,8	248/2001
Graduação	Areia Média		248/2001
Massa específica (g/cm ³)		2,43	52/2009
Massa específica unitária (g/cm ³)		1,405	45/2006

Fonte: Autoria própria, 2019

Como apresentado na tabela 03, a areia possui uma graduação média, ideal para a produção de concreto, com modulo de finura entre a zona ótima. Sendo um dos agregados mais utilizados possuindo massa específica absoluta entre leve e pesado: 2000 a 3000 kg/m³.

6.1.3. Agregado miúdo (pó de pedra)

Visto que a pesquisa se deu pela substituição total do pó de pedra, da mesma forma que se encontram nos pátios de britadores, optou-se por não se descartar a porcentagem retida no fundo do peneiramento. O pó de pedra apresentou uma graduação média e um módulo de finura em zona ótima segundo a Norma Mercosul vigente, mostrado na Tabela 4.

Tabela 4 – Características físicas do pó de pedra adquirido

Composição Granulométrica do Pó de pedra			
Abertura das peneiras ABNT (mm)	% Retida média	% Retida em massa Acumulada	Método de ensaio - NM
4,75	0	0	248/2003
2,36	12	12	
1,18	26	38	
0,6	18	56	
0,3	11	57	
0,15	18	85	
fundo	15		
Módulo de finura		2,58	248/2003
Dimensão máxima (mm)		4,8	248/2003
Graduação	Média		248/2003

Fonte: Autoria própria, 2019

6.1.4. Agregado graúdo

O agregado graúdo apresentou graduação denominada brita um, uma das mais utilizadas na produção de concreto estrutural convencional – possui resistência esperada entre 20MPa e 40MPa – sendo proveniente de um mesmo lote e única pedreira. Na Tabela 5 são apresentadas as características físicas do agregado graúdo empregado na pesquisa.

Tabela 5 – Características físicas da brita adquirida

Composição Granulométrica do agregado graúdo			
Abertura das peneiras ABNT (mm)	% Retida média em massa	% Retida em massa Acumulada	Método de ensaio - NM
19	4	4	248/2003
9,5	95	99	
4,75	1	0	
2,36	0	0	
1,18	0	0	
0,6	0	0	
0,15	0		
Dimensão máxima (mm)		25	248/2003
Graduação		Brita 1	248/2003
Massa específica (g/cm ³)		2,719	53/2009
Massa específica unitária (g/cm ³)		1,378	45/2006

Fonte: Autoria própria, 2019

6.2. CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO

6.2.1. Ensaio de consistência

A consistência do concreto em seu estado fresco apresentou abatimento para o traço convencional de 80 mm e o do traço com o pó de pedra apresentou abatimento de 70 mm como mostra a Tabela 6. Considerou-se que o pó de pedra tem mais finos em sua composição como mostra a Tabela 4, na qual o material apresentou 15% de sua massa passante da peneira de 0,15 mm, enquanto que a areia usada na pesquisa de acordo com a Tabela 3 não apresentou nenhuma porcentagem de fino. Com isso, o concreto se apresentou com abatimento satisfatório em virtude dessa característica exigir uma maior quantidade de água de amassamento. Ressaltando que não foram acrescidos água adicional na mistura. Desta forma, o concreto apresentou abatimento aceitável de acordo com as especificações requeridas para a sua produção.

Tabela 6 – Abatimento dos concretos fabricados

Traço	Abatimento (mm)
Areia	80
Pó de pedra	70

Fonte: Autoria própria, 2019

6.2.2. Ensaio de absorção e porosidade

Uma maior quantidade de vazios exige um maior consumo de pasta de cimento que consequentemente aumenta o custo, aumenta o calor de hidratação e aumenta a retração no concreto. Na Tabela 7 apresenta o percentual de porosidade encontrado nos concretos confeccionados. Nota-se que os concretos dos corpos de prova com pó de pedra apresentaram uma diminuição da absorção de água em 4,11%, 5,71% e 15,38% nas idades de 01, 03 e 07 dias, respectivamente quando comparado aos corpos de prova convencionais.

Tabela 7 – Absorção do concreto em seu estado endurecido

Absorção do concreto (%)		
Idades (idades)	Traço	
	Areia	Pó de pedra
1	7,30	7,00
3	7,00	6,60
7	6,50	5,50

Fonte: Autoria própria, 2019

Nesse tocante, deve-se observar que quanto maior a absorção do concreto maior a sua porosidade, uma vez que, a água absorvida se instala nos poros e vazios presentes no concreto, tornando o índice de vazios fator importante na propriedade de absorção de água nesses concretos. Esse fato pode ser evidenciado pelas análises realizadas na Tabela 8 a qual apresentou a porcentagem de índices de vazios das mesmas amostras realizadas como prescrito na NBR 9778/2005. Exibindo assim uma redução de 1,27%, 4,61% e 13,38% nas idades de 01, 03 e 07 dias respectivamente quando comparado com o traço com areia natural.

Tabela 8 – Índices de vazios do concreto em seu estado endurecido

Índice de vazios no concreto (%)		
Idades (dias)	Traço	
	Areia	Pó de pedra
1	15,70	15,50
3	15,20	14,50
7	14,20	12,30

Fonte: Autoria própria, 2019

6.2.3. Ensaio de resistência à compressão

A resistência à compressão é o principal parâmetro que pode ser usado na avaliação dos elementos estruturais na capacidade dos mesmos resistirem aos esforços solicitantes sem que haja ruptura. De uma forma geral, quanto mais poroso o concreto menor tende a ser a sua resistência à compressão. Os valores de resistência à compressão da Tabela 9 corresponderam à média aritmética de cada três corpos de prova ensaiados. Todas as exposições a seguir teve como base a Tabela 9.

Tabela 9 – Resistência à compressão do concreto em seu estado endurecido

Resistência à compressão (MPa)		
Idades (dias)	Traço	
	Areia	Pó de pedra
1	13,3	11,7
3	19,8	19,3
7	23,4	26,4

Fonte: Autoria própria, 2019

Pode ser observado que na idade de 3 dias, os concretos apresentam comportamento similar.

Na idade de 1 dia, observa-se que os corpos de prova confeccionados com o agregado miúdo (areia), conseguiu uma aceleração da resistência maior nessa primeira idade.

Entretanto, aos 7 dias, esse concreto não apresentou o mesmo desempenho. Paralelamente, o concreto com o pó de pedra apresentou melhor desempenho obtendo um aumento de 14,78% de sua resistência à compressão com relação ao concreto convencional, mesmo tendo sido executado com a mesma relação água/cimento. Essa resistência mais alta no concreto ocorreu, provavelmente, pelo refinamento dos poros.

SÁ, (2006) também comparou a influência da substituição de areia por pó de pedra no comportamento mecânico, microestrutural e eletroquímico em duas categorias de concreto de 20MPa e 40MPa e os resultados mostraram que os concretos de categoria de 20MPa com pó de pedra apresentou melhor desempenho do que o concreto contendo areia natural, sendo, portanto, viável a sua substituição.

De acordo com NEVILLE e BROOKS (2013), a resistência a compressão dos concretos tem uma série de fatores que a auxiliam, entre eles: granulometria, máxima dimensão relação água cimento, porosidade, idade, condições de cura, condições de realização do ensaio, porosidade e absorção. Dos quais alguns foram descritos e citados nessa pesquisa.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa recebeu motivações por âmbitos ambientais e econômicos a medida que aumentou a busca por concretos mais sustentáveis que possam auxiliar na indústria da construção civil em diversas maneiras, colaborando com a retirada de materiais que são importantes para os cursos de água, podendo ter ocorrências de impactos negativos que podem ser irreversíveis. Por tal motivo é imprescindível reconhecer e manter sob controle esses impactos desmedidos ao meio ambiente.

Nesse tocante que foi estudado e analisado as características do pó de pedra em substituição a areia natural proporcionando um bem ambiental, com a retirada mais controlada da areia dos rios, e econômico devido ao custo menor que esse material pode ser adquirido. Sendo uma nova alternativa comprovada como mostrado nos resultados obtidos, sendo o concreto com o pó de pedra da região de Pau dos Ferros, proporcionado um aumento na resistência à compressão em concretos de até 25MPa – sendo por ventura uma classe de concreto usada de forma moderada na região – proporcionando uma menor absorção de água e uma menor porosidade em seus vazios maior em todas as idades que se desenvolveram a pesquisa. Como também uma resistência à compressão significativa maior nos 7 dias de cura, evidenciando um aumento maior com o decorrer dos dias por parte dos concretos confeccionados com pó de pedra.

Como já mencionado, o objetivo do trabalho foi avaliar a incorporação do pó de pedra na resistência à compressão do concreto. No qual foi possível produzir um traço unitário em massa de 1: 1,72: 2,43, comparando a substituição da areia natural proveniente de cursos de rio da região com o pó de pedra proveniente de britadores locais, e, por conseguinte a produção desses concretos estudados e analisados de acordo com o seu estado fresco e endurecido.

Com o resultado do *Slump test*, que apresentou uma menor trabalhabilidade do concreto com pó de pedra devido a maior quantidade de finos, quando levamos em consideração o resultado da porosidade baixa desse mesmo concreto, o auxiliou no aumento da resistência como de acordo com Neville (2013). Evidenciando o fato de que se precisou conhecer todas as características dos materiais no alcance de concretos de resistência à compressão de qualidade.

Os resultados alcançados na pesquisa mostraram-se satisfatórios, pois, a incorporação do pó de pedra em substituição a areia natural, evidenciou valores positivos significativos para a pesquisa, dando vez e prerrogativa de que há um aumento de resistência à compressão em concretos com pó de pedra e essa substituição é viável de acordo com as proporções estudadas nesse trabalho.

8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Tendo em vista a satisfação com os resultados da pesquisa, busca-se a expectativa da realização de novos trabalhos relacionados a utilização de pó de pedra da região, em relação a concretos devido a característica da elevada resistência a compressão das rochas, visando a sua durabilidade, bem como outros temas. Sendo assim, abaixo são listadas propostas para trabalhos futuros:

- Realizar uma maior caracterização do pó de pedra da região levando em conta a história das rochas do Rio Grande do Norte, e comparar esses valores com outros pós de pedra de diferentes regiões no estado.
- Realizar diferentes ensaios com o uso desse pó de pedra no concreto endurecido, para comprovar a sua eficácia em outros métodos.
- Aplicar o uso do pó de pedra em argamassa armada.
- Fazer a incorporação do material pulverulento do pó de pedra na substituição do cimento na produção de concretos bombeáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (São Paulo). **Guia básico de utilização do cimento Portland**. 7. ed. São Paulo: ABCP, 2002. 28 p. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/cms/wp-content/uploads/2016/05/BT106_2003.pdf>. Acesso em: 17 dezembro de 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente. 1 ed. Rio de Janeiro, 2009. 06 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. 1 ed. Rio de Janeiro, 2015. 03 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento - Procedimento. 2 ed. Rio de Janeiro, 2015. 23 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica. 1 ed. Rio de Janeiro, 2005. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53**: Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. 2 ed. Rio de Janeiro, 2009. 14 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. 1 ed. Rio de Janeiro, 1998. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão em corpos de prova cilíndricos. 2 ed. Rio de Janeiro, 2018. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. 2 ed. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15900-1**: Água para amassamento do concreto - parte 1: requisitos. 2 ed. Rio de Janeiro, 2009. 11 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. 1 ed. Rio de Janeiro, 2006. 18 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto - especificações. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2009. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 26**: Agregados - Amostragem. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2009. 10 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 27**: Agregados - Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2001. 7 p.

BASTOS, S. R. B., **Uso da areia artificial basáltica em substituição parcial da areia fina para produção de concretos convencionais**. In: 45o Congresso Brasileiro do concreto - IBRACON. Anais: Instituto Brasileiro de Concreto, Vitória, agosto de 2003. Disponível em: <<http://site.ibracon.org.br/anos-anteriores>>. Acessado em 12 de novembro de 2018.

FARIAS, Márcio M. de; PALMEIRA, Ennio M. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. Brasília: Universidade de Brasília. IBRACON, 2007. Capítulo 16.

HELENE, P.; ANDRADE, T. **Concreto de Cimento Portland. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 2ed. IBRACON, 2010.

LIMA, F. J. N. DE. Estudo comparativo da penetração de íons cloreto em concretos convencionais e leves de resistências semelhantes expostos em ambiente marinho. Mossoró, RN. p.58, 2015.

MAURY, M. B.; BLUMENSCHNEIN, R. N. Produção de cimento: Impactos à saúde e ao meio ambiente. *Sustentabilidade Em Debate*, v. 3, n. 1, p. 75–96, Brasília, 2012. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/33544257.pdf>>. Acessado em 15 de novembro de 2018.

MENOSSE, R. T.; CAMACHO, J.S.; SALLES, F. M.; MELGES, J. L. P. **A influência do uso de pó de pedra nas características do concreto**. In: 46o Congresso Brasileiro do concreto - IBRACON. Anais: Instituto Brasileiro de Concreto, Florianópolis, agosto de 2004. Disponível em: < https://sigarra.up.pt/reitoria/pt/pub_geral.pub_view?pi_pub_base_id=3198>. Acessado em 12 de novembro de 2018.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. Ed. Pini. São Paulo. 573p, 1994.

NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. 5 ed., Bookman, Porto Alegre, 912 p, 2015.

NEVILLE, A. M.; BROOKS J. J. Tecnologia do Concreto. 2. ed. Porto Alegre: Bookman Editora, 2013.

SÁ, Maria das Vitórias Vieira Almeida. “Influência da substituição de areia natural por pó de pedra no comportamento mecânico, microestrutural e eletroquímico de concretos”. Tese de Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais – UFRN, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais – Área de concentração: compósito, Natal, Brasil, 2006. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/12876/1/Influ%C3%AanciaSubstituicaoAreia_Almeida_2006.pdf>. Acessado em 15 de novembro de 2018.

SANTOS, Roberto Eustaáquio dos. **A armação do concreto no Brasil: história da difusão do sistema construtivo concreto armado e da construção de sua hegemonia** / Roberto Eustaáquio dos Santos. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Educação. – Belo Horizonte, 2008. 327f.: il. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/FAEC-84KQ4X/2000000140.pdf?sequence=1>>. Acessado em 15 de novembro de 2018.