



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

SAMUEL QUEIROZ DANTAS

**AVALIAÇÃO DA DURABILIDADE DE CONCRETOS COM INCORPORAÇÕES DE
PÓ DE PEDRA E RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)**

Pau dos Ferros/RN

2019

SAMUEL QUEIROZ DANTAS

**AVALIAÇÃO DA DURABILIDADE DE CONCRETOS COM INCORPORAÇÕES DE
PÓ DE PEDRA E RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)**

Monografia apresentada pelo discente **Samuel Queiroz Dantas**, ao Conselho do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil da Universidade Federal Rural do Semi-Árido Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros/RN, como requisito parcial para obtenção título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. José Daniel Jales
Silva – UFERSA

Pau dos Ferros/RN

2019

© 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.

DD192 Dantas, Samuel Queiroz.
a Avaliação da durabilidade de concretos com
incorporações de pó de pedra e resíduo de construção
e demolição (RCD) / Samuel Queiroz Dantas. - 2019.
46 f. : il.

Orientador: José Daniel Jales Silva.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2019.

1. Cloretos. 2. Cimento Portland. 3. Nitrato
de Prata. 4. Durabilidade. I. Silva, José Daniel
Jales , orient. II. Título.

SAMUEL QUEIROZ DANTAS

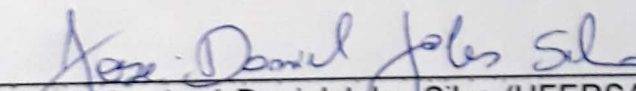
**AVALIAÇÃO DA DURABILIDADE DE CONCRETOS COM INCORPORAÇÕES DE
PÓ DE PEDRA E RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)**

Monografia apresentada pelo discente **Samuel Queiroz Dantas**, ao Conselho do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil da Universidade Federal Rural do Semi-Árido Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros/RN, como requisito parcial para obtenção título de Bacharel em Engenharia Civil.

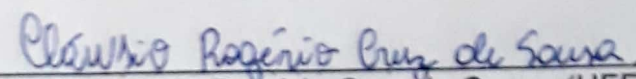
Orientador: Prof. Me. José Daniel Jales
Silva – UFERSA

APROVADA EM: 09 / 08 / 2019

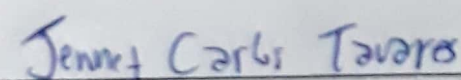
BANCA EXAMINADORA



Prof. Me. José Daniel Jales Silva (UFERSA)
Presidente



Prof. Dr. Cláudio Rogério Cruz de Sousa (UFERSA)
Membro Examinador



Bel. Jennef Carlos Tavares (EXTERNO)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem Ele nada sou e não teria chegado até aqui, e qualquer mérito por mim alcançado atribuo as oportunidades e pessoas especiais que colocou em meu caminho.

Aos meus queridos pais, Auri Barbosa e Raimunda Maria, por todo esforço e apoio para verem meu sonho concretizado, e irmãos Francisca Queiroz e José Manoel Queiroz por acreditarem no meu potencial e terem me dado suporte durante todo esse tempo.

A minha namorada Caroline Nogueira, por estar ao meu lado nos momentos que mais precisei, me apoiando, incentivando e compreendendo meu sonho.

Ao meu orientador, Me. José Daniel pela sua amizade, confiança e ensinamentos repassados ao longo dessa pesquisa.

Ao amigo e professor Jennef Tavares, por todo o suporte e contribuições.

Ao meu parceiro de projeto Vitor Souza, pela amizade, comprometimento e auxílio na realização dos ensaios necessários.

A todos os amigos que se fizeram presentes nesse percurso, pelo incentivo, ensinamentos, momentos de descontração e pela confiança depositada em mim: Liliane Chaves, Francisco de Assis, Lilian Cristina, Fernanda Melquíades, Bruna Lima, Tairine Brilhante, Maria Gerlânia, Alexsandro Linemberg, Luma Sllary, José Romário, Hingrid Araújo e Vandeilson Silva.

Por fim, deixo minha gratidão a todos aqueles que de maneira direta ou indireta contribuíram para realização deste trabalho.

RESUMO

Diante do cenário atual, onde a escassez das jazidas de materiais naturais tem se tornado uma preocupação, o setor da construção civil é visto como um de seus grandes consumidores, além disso, também é responsável pela geração de uma numerosa quantidade de resíduos sólidos, devido suas atividades de construção e demolição. Com isso, nos últimos anos vem sendo estudada a possibilidade da incorporação de resíduos na produção de argamassas, concretos, pavimentação, entre outros produtos. Esse trabalho objetivou estudar a influência na durabilidade de concretos com a incorporação do pó de pedra, resultante do processo de britagem e os resíduos de construção e demolição (RCD). Realizaram-se os ensaios de caracterização dos materiais, que comprovaram sua semelhança com os agregados naturais que foram parcialmente substituídos, a areia, com adição de 10% de pó de pedra e a brita, nas proporções de 5%, 10% e 15% de substituição. Foram realizados para o concreto os ensaios de abatimento de tronco de cone e massa específica para o estado fresco, que mostraram que apesar de uma redução no primeiro, o concreto mantém sua trabalhabilidade, podendo assim ser aplicado dessa forma ou ainda buscar-se melhorar essa propriedade com o uso de aditivos. No estado endurecido foi verificada a penetração de cloretos e absorção, os resultados obtidos mostraram, que sob condição de pré saturação do RCD, existiu uma melhoria na durabilidade dos concretos, pois há uma redução na penetração dos íons cloretos, percebendo-se também que em menores quantidades de incorporações alcança-se melhores resultados, sendo o traço incluindo simultaneamente 10% de pó de pedra e 5% de RCD o mais indicado ao reaproveitamento desses resíduos.

Palavras-chave: Cloretos, cimento Portland, nitrato de prata, durabilidade

ABSTRACT

Given the current scenario, where the scarcity of natural material deposits has become a concern, the construction industry is seen as one of its major consumers, and is also responsible for generating a large amount of solid waste due to its construction and demolition activities. Thus, in recent years the possibility of incorporating waste in the production of mortars, concrete, paving, among other products has been studied. This work aimed to study the influence on the durability of concrete with the incorporation of stone dust, resulting from the crushing process and the construction and demolition waste (RCD). The material characterization tests were carried out, which proved to be similar to the partially replaced natural aggregates, sand, with 10% stone dust and gravel, in the proportions of 5%, 10% and 15% of substitution. For the concrete, the tests were carried out for the reduction of the cone trunk and specific mass for the fresh state, which showed that despite a reduction in the first one, the concrete maintains its workability, thus being able to be applied in this way or to try to improve this property with the use of additives. In the hardened state was verified the penetration of chloride and absorption, the results showed that, under condition of pre-saturation of the RCD, there was an improvement in the durability of concrete, since there is a reduction in the penetration of chloride ions, also realizing that in Lower amounts of incorporation achieve better results, with the trait including both 10% stone dust and 5% RCD the most suitable for the reuse of these residues.

Keywords: chloride, Portland cement, silver nitrate, durability

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Corpo de prova de Concreto seccionado	16
Figura 2 – Microestrutura do Concreto	17
Figura 3 - Fluxograma metodológico da pesquisa.....	25
Figura 4 – Indicação da seção e local das medições realizadas nos corpos de prova	29
Figura 5 – Granulometria da Areia	30
Figura 6 – Granulometria do Pó de Pedra.....	30
Figura 7 – Granulometria da Brita	31
Figura 8 – Granulometria do RCD.....	32
Figura 9 – Ensaio de Massa Unitária: (A) Areia e (B) Pó de Pedra	33
Figura 10 – Corpos de prova após moldagem	34
Figura 11 – Corpo de Prova Apresentando Cl^-	37
Figura 12 – Evolução da Penetração de Cloretos	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Óxidos e compostos do cimento Portland	18
Tabela 2 - Resultados da presença de cloretos de acordo com a coloração apresentada	28
Tabela 3 – Quantitativo de Materiais Utilizados	35
Tabela 4 – Resultados do ensaio Slump Test	35
Tabela 5 – Massa específica fresca	36
Tabela 6 – Penetrações de Cloreto no Concreto Referência	38
Tabela 7 – Penetrações de Cloreto no Concreto com Pó de Pedra	38
Tabela 8 – Penetrações de Cloreto no Concreto PP + 5% de RCD	38
Tabela 9 – Penetrações de Cloreto no Concreto PP + 10% de RCD	38
Tabela 10 – Penetrações de Cloreto no Concreto PP + 15% de RCD	38
Tabela 11 – Ensaio de Absorção dos Concretos	40

LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
Cl ⁻	Íons Cloretos
CPI	Cimento Portland Comum
CPII	Cimento Portland Composto
CPII – E	Cimento Portland com Adição de Escória de Alto-Forno
CPII – F	Cimento Portland com Adição de Filler
CPII – Z	Cimento Portland com Adição de Material Pozolânico
CPIII	Cimento Portland de Alto-Forno
CPIV	Cimento Portland Pozolânico
CPs	Corpos de Prova
CPV – ARI	Cimento Portland de Alta Resistência Inicial
NBR	Norma Brasileira
NM	Norma Mercosul
PP	Pó de Pedra
RCD	Resíduos de Construção e Demolição

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 Geral.....	14
2.2 Específicos	14
3 REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1 Concreto	15
3.2 Macroestrutura e Microestrutura.....	15
3.3 Aglomerantes	17
3.4 Agregados	18
3.5 Aditivos	19
3.6 Adições Minerais	19
3.7 Resíduo de Construção e Demolição (RCD)	20
3.8 Pó de Pedra.....	21
3.9 Durabilidade	22
4 METODOLOGIA DA PESQUISA.....	24
4.1 Caracterização dos Materiais	25
4.1.1 Pó de Pedra.....	26
4.1.3 Cimento	26
4.1.4 Agregado Miúdo e Graúdo	26
4.1.5 Concreto	27
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
5.1 Análise Granulométrica	30
5.1.1 Areia e Pó de Pedra	30
5.1.2 Brita e RCD	31
5.2 Massa Específica Real	32
5.2.1 Areia e Pó de Pedra	32

5.2.2 Brita e RCD	33
5.3 Massa Unitária.....	34
5.4 Quantitativo de Materiais	34
5.5 Ensaios Tecnológicos no Estado Fresco.....	35
5.5.1 Slump Test	35
5.5.2 Massa Específica Fresca.....	36
5.6 Caracterização no Estado Endurecido	37
5.6.1 Ensaio de Penetração de Cloretos	37
5.6.2 Absorção do Concreto	40
6 CONCLUSÃO	42
7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	43
REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

Desde o início dos tempos a humanidade degradava o meio ambiente, pela transformação do meio natural em um que se adequasse as suas necessidades. Isso se agravou ainda mais com o crescimento populacional e posterior desenvolvimento dos centros urbanos e das indústrias, que consomem mais recursos naturais, produzem maior impacto ambiental e geram poluentes atmosféricos (FERREIRA, 2017).

O setor de construção civil é responsável por grande parte desses impactos ambientais, visto que seus materiais são recursos de origem natural, renováveis e não renováveis, que consomem bastante energia em suas atividades e geram grandes massas de resíduos sólidos, que na maioria das vezes não possui descarte adequado (MONTE JUNIOR, 2017).

No que diz respeito as atividades de construção, esses resíduos resultam na maioria das vezes da compra excessiva de material ou do manuseio inadequado de equipamentos por parte de uma mão de obra desqualificada, de outro modo, a demolição é importante para realização de novas construções e consequente desenvolvimento de cidades, onde o pouco espaço para construir é um problema considerável, e também é necessária quando uma edificação precisa ser reformada ou atinge sua vida útil (AKHTAR e SARMAH, 2018).

Estima-se que no Brasil cerca de 20% de material é perdido nos processos construtivos convencionais, sendo os maiores contribuintes para geração de resíduo a argamassa e seus componentes, representando 60% do entulho de uma obra, outros materiais a serem destacado são os elementos de vedação, que ocupam 30% do entulho (DOS SANTOS et al., 2016).

A destinação desses rejeitos torna-se um grande problema ambiental se não for realizada da maneira correta, o que acontece na maioria dos casos. Segundo dados da ABRELPE – Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (2016) o quantitativo em 2016 de resíduo proveniente da construção civil foi de 45,1 milhões de toneladas, isso considerando que os órgãos municipais coletam apenas os resíduos dispostos nas vias públicas, o que torna a situação ainda mais alarmante.

Para reduzir esses problemas vários estudos comprovaram a eficiência do emprego do resíduo de construção e demolição (RCD) como agregados na

fabricação de concretos, argamassas, blocos de pavimentação, entre outros. Esses usos não apenas minimizam os problemas ambientais, como também geram misturas de menor custo financeiro sem que ocorram prejuízos no desempenho das mesmas (DI DOMENICO et al., 2018).

Outro tipo de resíduo que pode também ser incorporado ao concreto é o pó de pedra, proveniente do processo de britagem. Estima-se que esse rejeito representa de 15 a 20% do material produzido na extração das britas, tendo como consequência a diminuição das rochas, além do impacto ambiental provocado pelo descarte desse material (DUARTE, 2013).

Em vista disso, a incorporação de resíduos na construção civil não somente se apresenta como uma boa alternativa econômica como também sustentável, muito importante na atualidade, onde se busca aliar o desenvolvimento com a sustentabilidade. Contudo, para atingir-se esse estágio é essencial o uso responsável de recursos naturais, bem como uma modificação do comportamento da sociedade, minimizando os rejeitos provenientes de suas atividades (MONTE JUNIOR, 2017).

Ainda é importante ressaltar que os componentes produzidos por esses concretos devem se apresentar viáveis a utilização, para isso o estudo das propriedades físicas dos agregados e do concreto são de fundamental importância. Outro aspecto essencial é a durabilidade desses concretos, característica essa que muitas vezes é ignorada devido aos estudos das propriedades mecânicas e viabilidade técnica, porém a carência dessa análise pode comprometer o produto final e colocar em risco a obra (TROIAN, 2010).

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Realizar um estudo da durabilidade de concretos mediante a incorporação de pó de pedra e resíduo de construção e demolição.

2.2 Específicos

- Realizar a caracterização e comparativo dos materiais utilizados;
- Avaliar a influência das adições do RCD e pó de pedra no estado fresco e endurecido do concreto;
- Analisar a durabilidade dos compósitos frente a agentes agressivos, como cloretos.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Concreto

O concreto é o material de construção mais utilizado no mundo, por apresentar boa trabalhabilidade, boa resistência a solicitações, a choques, vibrações e efeitos térmicos, além de ser um material durável e as técnicas construtivas serem dominadas em todo o país. A relevância dessas características varia do estado fresco para o endurecido, onde no primeiro destacam-se a consistência, a trabalhabilidade e a homogeneidade e no segundo as características mecânicas, principalmente a resistência a tração e a compressão (CARVALHO e PINHEIRO, 2014).

É um material compósito formado por um meio aglomerante no qual se aglutinam partículas de agregados. No concreto de cimento hidráulico, por exemplo o aglomerante é uma mistura de cimento hidráulico e água, os agregados são materiais granulares como areia, brita, pedregulho, escórias de alto forno e resíduos de construção e demolição, e distinguem-se em dois tipos, graúdo e miúdo. Também podem ser empregados aditivos e adições, com o intuito de melhorar alguma propriedade do concreto, como trabalhabilidade, tempo de pega, resistência, entre outras (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Devido sua multifuncionalidade para ser aplicado e quantidades necessárias para tal, modificações são essências desde o processo de produção até a aplicação, de modo a garantir a qualidade e melhorar as características. Dessa forma inovações na tecnologia do concreto são necessárias, como emprego de adições e aditivos, métodos de dosagem, equipamentos que permitam melhor mistura e aplicação, dentre outros (BARBAR, 2016).

3.2 Macroestrutura e Microestrutura

Os componentes macroscópicos de um material podem ser simplesmente vistos a olho nu em uma seção transversal. Em termos macroscópicos o concreto pode ser classificado como uma estrutura bifásica, composta por partículas de agregados, facilmente distinguidas com formas e tamanhos variados, e uma massa

de pasta de cimento hidratada (MEHTA e MONTEIRO, 2008). Na Figura 1 podem ser identificadas essas duas fases da macroestrutura do concreto.

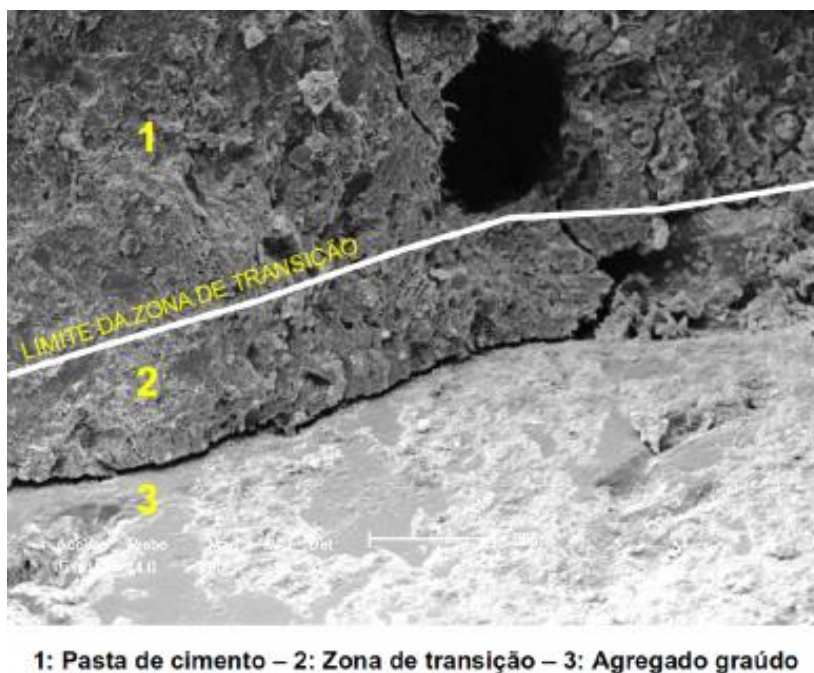
Figura 1 – Corpo de prova de Concreto seccionado



Fonte: Autor, 2019

Estudos na área dos materiais mostram que as propriedades dos mesmos têm origem direta em sua microestrutura, no caso do concreto a mesma é bastante heterogênea e complexa, tal característica torna difícil um modelo preciso que a represente, contudo existem sinteticamente três fases componentes, que podem ser visualizadas na Figura 2, a matriz da pasta de cimento hidratada, a fase agregado e a zona de transição (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Figura 2 – Microestrutura do Concreto



Fonte: Lima, 2013

Dessa forma, modificando-se a estrutura interna também se altera as propriedades do concreto, de modo que uma manipulação nos componentes do material pode melhorar propriedades como trabalhabilidade, tempo de pega (acelerar ou retardar), resistência, densidade, resistência mecânica e durabilidade (BARBAR, 2016).

3.3 Aglomerantes

Os cimentos Portland são obtidos pela calcinação de uma mistura de carbonato de cálcio, silicatos de alumínio e ferro (argilas) e gipsita, além de substâncias ricas em sílica, alumínio e ferro. Esses materiais são submetidos a elevadas temperaturas, em torno de 1500 °C, e as reações entre os mesmos gera ao se resfriar pedaços de pequenas dimensões, entre 2 mm e 20 mm, denominados clínquer, e é justamente a moagem desse clínquer que resulta no cimento (SOUZA e RIPPER, 2009).

A composição do cimento é obtida por meio de uma análise química, que resulta nos óxidos que se formaram durante o processo de obtenção, a Tabela 1 apresenta os mesmos, bem como os compostos do clínquer.

Tabela 1 - Óxidos e compostos do cimento Portland

Óxido	Abreviação	Composto	Abreviação
CaO	C	3CaOSiO_2	C_3S
SiO_2	S	2CaOSiO_2	C_2S
Al_2O_3	A	$3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$	C_3A
Fe_2O_3	F	$4\text{CaOAl}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_2$	C_4AF
MgO	M	$4\text{CaO}_3\text{Al}_2\text{O}_3\text{SO}_3$	$\text{C}_4\text{A}_3\text{S}$
SO_3	S	$3\text{CaO}_2\text{SiO}_2\text{H}_2\text{O}$	$\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$
H_2O	H	$\text{CaSO}_4\text{H}_2\text{O}$	CSH_2

Fonte: MEHTA e MONTEIRO, 2008

Segundo a ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland (2019) os cimentos são classificados de acordo com o tipo de adição que possuem, em classes que vão do CPI ao CPV-ARI, nas quais o CPI, ou cimento Portland comum, possui pouca ou nenhuma adição mineral, o CP II, que é o cimento Portland composto, subdivide em CP II – E (6-34% de escória), CP II – Z (6-14% de pozolana) e CP II – F (11-25% de filler), já o CP III, que é o cimento Portland de alto-forno, possui de 35-75% de escória. O CP IV por sua vez, é o cimento Portland pozolânico, apresentando um percentual de pozolana entre 15% e 50%, e por fim, tem-se o CPV-ARI, com adição de filler de até 10%, sendo utilizado principalmente por sua alta resistência inicial.

3.4 Agregados

Em um concreto convencional cerca de 3/4 do volume da mistura é compreendido pelos agregados, devido a isso existe uma grande relevância voltada para qualidade dos mesmos, pois interferem diretamente na resistência do concreto, além de suas características afetarem de maneira direta no desempenho estrutural e na sua durabilidade (NEVILLE e BROOKS, 2013).

Os agregados podem ser classificados como agregados minerais naturais e agregados artificiais, os minerais naturais englobam a areia, a brita e o pedregulho, obtidos nas jazidas minerais, já os artificiais compreendem os materiais que receberam algum processo térmico, são exemplos as argilas e folhelho expandido,

também podendo ser obtidos por meio de rejeitos industriais e urbanos, como escórias de alto forno e resíduos de construção e demolição (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Já em relação ao tamanho, são classificados segundo ABNT NBR 7211:2009 em agregados miúdos e graúdos, de forma que os graúdos são os agregados em que os grãos ficam retidos na peneira de 4,75 mm, e os miúdos são aqueles cujos grãos são passantes na peneira 4,75 mm, mas ficam retidos na peneira de 150 µm.

Algumas características como forma, textura, dimensão, absorção, massa específica, composição química e mineral, e resistência das partículas de agregados podem ser determinadas e têm grande influência nas propriedades do concreto produzido. Porém mesmo sabendo todas elas é difícil definir se um agregado será bom ou não para produção de concreto, pois isso também dependerá das reações do mesmo ao ser imerso na pasta de cimento, mas é de conhecimento que se um agregado apresentar uma ou mais característica inadequada provavelmente gerará um concreto de boa qualidade, daí a importância dos ensaios (NEVILLE e BROOKS, 2013).

3.5 Aditivos

De acordo com a NBR 11768:2011 os aditivos são produtos que tem por função alterar as propriedades do concreto no estado fresco ou endurecido, geralmente usado no procedimento de preparação do material, em uma quantidade que não ultrapasse um valor de 5% em relação ao material cimentício.

Dentre os benefícios do uso dessas matérias destacam-se a melhoria na trabalhabilidade do concreto, retardamento ou aceleração do tempo de pega, aceleração da desforma, diminuição do calor de hidratação, aumento da compacidade no estado endurecido, redução da permeabilidade, diminuição da retração, aumento da resistência mecânica e da durabilidade (SILVA, 2015).

3.6 Adições Minerais

Adição mineral é o nome que se dá aos produtos adicionados ao concreto ou cimento com objetivo de melhorar alguma propriedade dos mesmos, no geral são materiais silicosos, em quantidades que variam entre 6 e até 70% do material cimentício. Algumas adições são pozolânicas, como a cinza volante de baixo teor de

cálcio, e outras cimentantes, que o caso da escória de alto-forno (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

As adições minerais são usualmente incorporadas no concreto em grande quantidade, por representarem uma redução de custo considerável, ganho de trabalhabilidade no estado fresco, e resistência a fissuração térmica, a expansão pelas reações álcali-agregado e ataques por sulfato no estado endurecido. Os materiais mais utilizados são os pozolânicos naturais e subprodutos industriais como cinzas volantes e escórias de alto forno, que devido as vantagens relacionadas ao seu uso são conhecidos como materiais cimentantes complementares (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

3.7 Resíduo de Construção e Demolição (RCD)

As atividades construtivas no geral, bem como os processos de demolição resultam na geração de resíduos sólidos, denominados como resíduo de construção e demolição (RCD). Vale ressaltar ainda que os mesmos podem ser produzidos ainda por distúrbios como desastres naturais, sendo em uma quantidade mais alarmante nesse caso. Esses resíduos gerados apresentam problemas graves no que diz respeito ao transporte, disposição em local apropriado, processamento e acomodação em aterros sanitários (AKHTAR e SARMAH, 2018).

Em busca de uma amenização desses problemas, vários estudos vêm sendo realizados nos últimos anos na tentativa de reaproveitar o RCD como material de construção reciclado, destacando-se seu uso como agregado. Isso não somente diminui os impactos provocados tanto na construção quanto na demolição, como também reduz os impactos ambientais no início do processo produtivo, ou seja, a extração de recursos naturais para fabricação de materiais (XIAO et al., 2018).

Na reciclagem do RCD são utilizadas basicamente três etapas, que são descritas por Carrijo (2005):

- 1) Britagem por compressão ou impacto, com o intuito de reduzir o tamanho das partículas;
- 2) Peneiramento, que separa as partículas de acordo com seu tamanho, também podendo ser usado classificadores, separando as partículas leves, ou seja, menores que 0,15 mm, dos agregados reciclados;

- 3) Catação, que pode ser realizada antes ou depois da britagem, separando a fração mineral da não mineral, retirando assim os contaminantes, no geral ocorre de forma manual.

A mesma autora ressalta ainda que esses resíduos podem ser utilizados em diferentes processos construtivos, como por exemplo enchimentos em geral, base ou sub-base de pavimentação rodoviária, agregados para concretos estruturais e não estruturais, argamassas de assentamento e revestimento, uso em obras públicas e arquitetônicos para estética e decoração.

Têm-se ainda uma distinção do RCD em dois tipos, o cinza e o misto, o cinza é resultante apenas do resíduo de concretos nas obras, enquanto o RCD misto é composto por vários tipos de materiais. Martín *et al.* (2011) ressalta que este último é mais propício a conter impurezas, como por exemplo tijolos de barro esmagados, materiais cerâmicos triturados e gesso que contribuem para a existência de contaminantes, tais como cloretos, sulfatos, gel silicioso, entre outros.

3.8 Pó de Pedra

O pó de calcário ou pó de pedra é um subproduto das indústrias da areia e da brita, que devido ao seu potencial na produção de concreto tem sido bastante utilizado, entre as funções, desempenha um papel ativo na hidratação do cimento, além de reduzir a alcalinidade das fases de hidratação (GONG *et al.*, 2018).

A incorporação de pó de pedra pode ainda melhorar algumas propriedades do concreto como trabalhabilidade, resistência e durabilidade, representando ainda uma vantagem financeira no custo de produção. Destacando-se entre elas a resistência ao ataque a sulfatos, pois o material contém um alto grau de carbonato de cálcio, ocasionando uma mudança na microestrutura do concreto e impermeabilização do mesmo (RYOU, 2015).

A utilização pó de pedra no concreto como agregado miúdo tem gerado grande interesse, tanto por questões ambientais, quanto as relacionadas a durabilidade e ainda por motivos econômicos, pois as pedreiras poderão comercializar um produto que seria descartado, não tinha valor algum, e ainda provocava problemas em relação à estocagem e ao meio ambiente, por um valor final mais acessível e reduzir o custo da produção do concreto (MENOSSEI, 2004).

3.9 Durabilidade

Um conhecimento apurado das características do concreto, que por sua vez dependem dos seus constituintes, sobretudo o cimento, possibilita uma análise de durabilidade em conformidade com a resistência do concreto, da resistência química e da estabilidade dimensional, ou seja, os fenômenos de retração e expansão, a fissuração do concreto e a sua eficiência em resistir a agentes químicos, como água do mar, poluição e salinidade do ar, entre outros (SOUZA e RIPPER, 2009).

Dessa forma, um concreto durável é aquele que resiste ao ambiente de uso para o qual foi projetado, mantendo sua qualidade, forma e capacidade. Daí tem-se a associação entre vida útil e durabilidade, pois uma vida útil longa está diretamente relacionada com a durabilidade. Por esse motivo uma avaliação da durabilidade dos materiais de construção merece atenção tanto quanto outros atributos iniciais como custo e propriedades mecânicas (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

A água é o principal agente responsável pelo carregamento de substâncias agressivas para o interior do concreto, desencadeando os processos químicos que o degradam. Mas os agentes, em sua generalidade, atuam de maneira contínua e com intensidade que varia de acordo com a qualidade do concreto e procedimentos desde a concepção até o uso e manutenção da estrutura (CASTRO, 2009).

Dessa forma, do ponto de vista da durabilidade, quanto menos permeável for uma estrutura de concreto e quanto mais rápido for obtida essa durabilidade, mas durável a mesma será. Com isso, uma mistura com relação água/cimento baixa é favorável ao fechamento dos poros em um reduzido tempo de cura úmida, do mesmo modo que a interrupção dessa cura aumentará a permeabilidade devido a formação de fissuras de retração (NEVILLE e BROOKS, 2013).

Em relação as causas deterioração do concreto pode-se dizer que as mesmas ter origem por dois meios, o físico e o químico. As causas físicas são o desgaste superficial, provocado por abrasão, erosão ou cavitação do concreto, e a fissuração, devido as variações volumétricas, carregamento estrutural e exposição a extremos de temperatura. Já as causas químicas do desgaste são várias, podendo se agravar ainda mais ao ocorrerem de forma simultânea, como reações envolvendo hidrólise e lixiviação dos componentes da pasta de cimento endurecida, reação de troca de íons entre a pasta e um fluido agressivo, e a formação de produtos expansivos (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

Os íons cloretos (Cl^-) são uns dos mais agressivos, principalmente para o concreto armado, por isso merecem uma maior atenção, ao despassivarem a armadura pela formação de pites, reduzem a seção da barra e levam assim a estrutura ao colapso. Os cloretos podem ser provenientes dos agregados, de água ou solo contaminados, de aditivos aceleradores de pega, ou da ação direta da água do mar (FRANÇA, 2011).

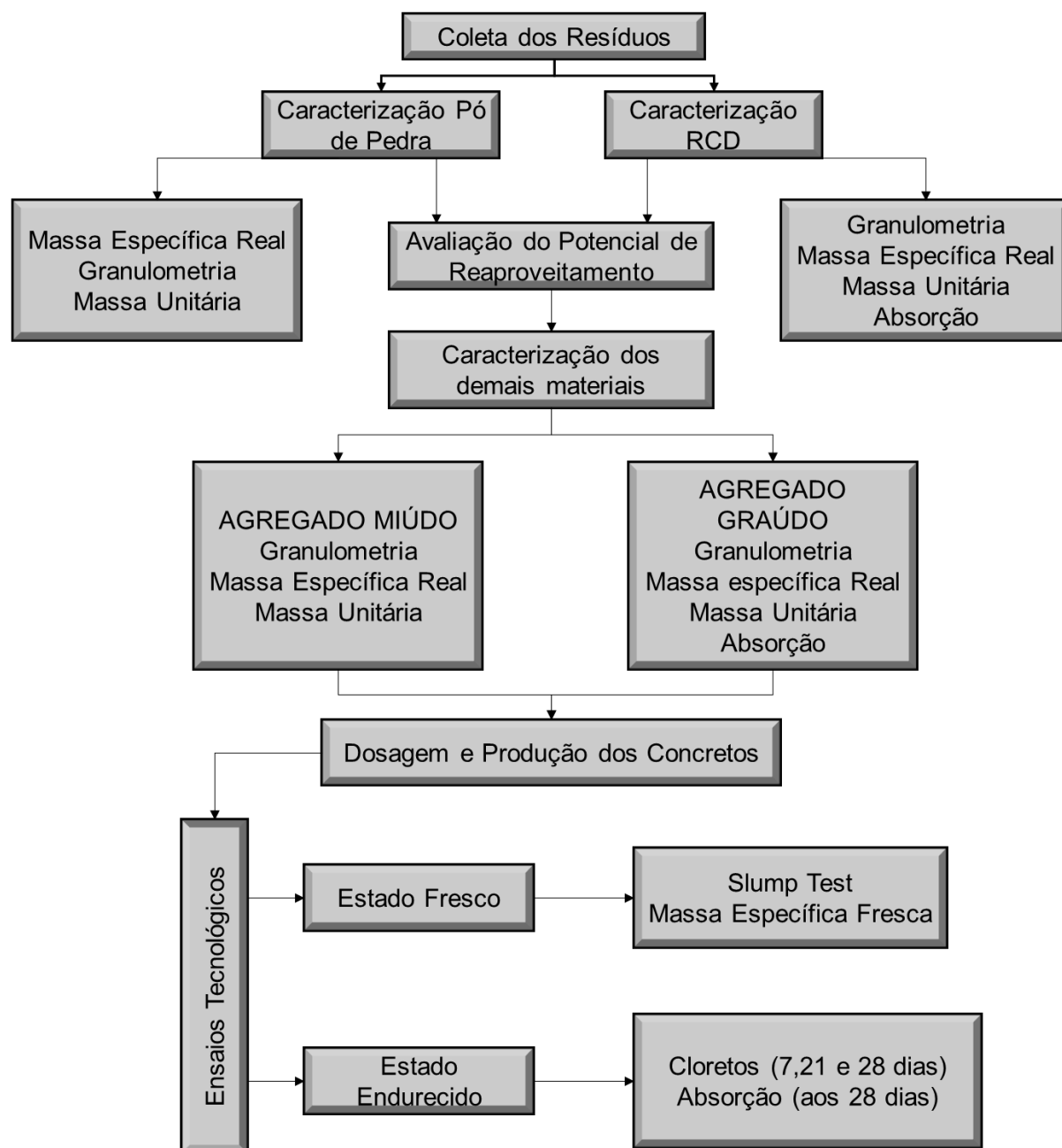
4 METODOLOGIA DA PESQUISA

O estudo foi organizado de modo a permitir uma avaliação dos concretos com base nas incorporações de pó de pedra e RCD, este primeiro utilizado como complemento ao agregado miúdo, e o segundo em substituição a uma parcela de agregado graúdo, de modo a verificar o comportamento microestrutural e a durabilidade à diferentes teores de incorporação.

A pesquisa foi dividida em duas etapas, a primeira compreende a caracterização dos materiais e a escolha do traço mais adequado para a produção dos concretos, e a segunda, por sua vez, aborda os ensaios realizados tanto no estado fresco quanto no endurecido do concreto, para verificar as propriedades e o desempenho dos mesmos.

O estudo iniciou-se pela coleta dos resíduos, que foi feita em locais distintos, de modo que o RCD foi proveniente de uma usina de reciclagem de resíduos, da cidade de Natal – RN, e o pó de pedra por sua vez, coletado em uma pedreira localizada na cidade de Encanto – RN. Posteriormente foram realizados ensaios de caracterização desses materiais, bem como dos outros constituintes do concreto, de forma a definir o melhor traço para produção. A Figura 3 apresenta um fluxograma detalhado de todas as etapas que foram realizadas ao decorrer deste trabalho.

Figura 3 - Fluxograma metodológico da pesquisa



Fonte: Autor, 2019

4.1 Caracterização dos Materiais

Os materiais foram preparados para os ensaios através do quarteamento, descrito pela NBR NM 27/2001, com o intuito de coletar uma amostra representativa dos materiais. Após quarteados os materiais foram secos em estufa por 24 horas no

Laboratório de Engenharia Civil da UFERSA – Pau dos Ferros, conforme recomendações normativas.

4.1.1 Pó de Pedra

Como o material foi utilizado em complemento a areia, foram realizados os ensaios de granulometria pelo método de peneiramento descrito na NBR NM 248/2003, também os ensaios de massa específica real do agregado, pelo frasco de Chapman e procedimentos prescritos na NBR 9776/1987 e por fim o ensaio de massa unitária, pela NBR NM 45/2006, que é a relação entre a massa e o volume dos grãos, considerando-se também o índice de vazios.

4.1.2 Resíduo de Construção e Demolição

O RCD utilizado nessa pesquisa é o misto e por ter vindo de uma usina de reciclagem possuía um padrão em relação ao seu tamanho já pré-definido, pois havia sido passado na peneira 19 mm, e os ensaios executados foram os relacionados aos agregados graúdos, ou seja a granulometria, por meio da NBR NM 248/2003, massa unitária e os de massa específica real e absorção pela ABNT NBR NM 53/2009, sendo a absorção o aumento da massa do agregado pelo preenchimento dos seus poros com água.

4.1.3 Cimento

O cimento utilizado para os concretos nesta pesquisa foi o CPII – E 32, por ser o tipo de cimento mais aplicado na região. Onde o mesmo possui uma massa específica de 3100 Kg/m^3 e massa unitária de 1450 Kg/m^3 , valores esses importantes para a definição do traço.

4.1.4 Agregado Miúdo e Graúdo

Representados pela areia e brita, respectivamente, os agregados miúdos e graúdos passaram pelos ensaios de granulometria e massa específica real para ambos, pelas mesmas normas já mencionadas anteriormente. Em divergência, sendo a areia um agregado miúdo, foi feito o ensaio de massa unitária pela norma

ABNT NBR NM 45/2006, e para a brita, em adicional, fez-se ainda o ensaio de absorção, seguindo os procedimentos descritos na ABNT NBR NM 53/2009.

4.1.5 Concreto

Para produção dos concretos foi utilizado o método de dosagem da ABCP, no qual exige-se o conhecimento do tipo, massa específica e resistência aos 28 dias do cimento, também da massa específica e dimensão máxima dos agregados, a consistência desejada no estado fresco e a resistência final que se pretende do concreto.

Para os percentuais dos resíduos, foi utilizado para o pó de pedra 10% em todos os traços, pois estudos feitos por Duarte (2013) mostraram que esse teor era ideal ao uso, porque em maiores proporções diminuía-se a resistência e durabilidade do concreto. Já para o resíduo de construção e demolição optou-se por valores de 5%, 10% e 15%, de modo a avaliar a interferência na durabilidade do concreto ao se aumentar o total de resíduo incorporado.

Foram moldados corpos de prova cilíndricos com dimensões de 20 cm de altura por 10 cm de diâmetro, sendo feitos assim um traço referência, para uma resistência de 25 MPa aos 28 dias, outro traço somente com os 10% de pó de pedra, e mais três traços contendo pó de pedra e os respectivos valores de RCD já mencionados, totalizando assim cinco traços, sendo que para cada um deles foram confeccionados três corpos de prova para cada uma das idades estudadas.

Para cada traço preparou-se doze corpos de prova, três para cada uma das idades, totalizando nove, dois para o ensaio de absorção e um reserva, caso fosse necessário. O concreto foi misturado de forma manual, segundo as indicações da NBR 5738/2015, utilizando uma balança para pesar os materiais e enxada para fabricação do concreto. Primeiro foi adicionado a agregado miúdo, seguido pelo cimento, que após mistura receberam o agregado graúdo e por fim a água.

Após a fabricação do concreto, ainda no estado fresco, foi verificada a consistência pelo ensaio de abatimento de tronco de cone “slump test”, normatizado pela ABNT NBR NM 67/1998 e a massa específica fresca, segundo a ABNT NBR 9833:2008. Já os corpos de prova foram adensados de forma manual, em duas camadas com 12 golpes cada.

Para o estado endurecido, nas idades de 7, 21 e 28 dias, fez-se a análise da penetração de cloretos (Cl^-), intensificada por uma solução salina que simula a condição de água do mar, também foi verificada a absorção do concreto, seguindo os procedimentos da ABNT NBR 9778/2005 para a idade de 28 dias.

4.1.6 Ensaio de Aspersão da solução de Nitrato de Prata

Para este ensaio foram utilizados os procedimentos descritos na UNI 7928/1978 *apud* França (2011), onde foram utilizados:

- Solução de nitrato de prata (0,1 M);
- Frasco aspersor;
- Luvas impermeáveis de borracha;
- Paquímetro digital.

Os corpos de prova submetidos ao ensaio foram rompidos e seccionados na hora de realização do ensaio para exposição da superfície interna, de maneira a possibilitar a aspersão da solução em seu interior, em seguida ficaram expostos por cerca de 15 minutos em um ambiente iluminado para que a reação do nitrato de prata e cloretos pudesse acontecer.

A Tabela 2 mostra o método de avaliação da presença de cloretos utilizada.

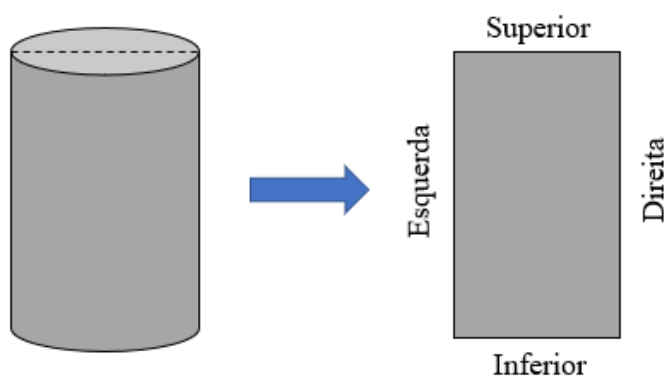
Tabela 2 - Resultados da presença de cloretos de acordo com a coloração apresentada

Coloração Apresentada	Avaliação
Branca	Presença de cloretos livres
Marrom	Ausência de cloretos livres

Fonte: Adaptada UNI 7928/1978 *apud* França (2011).

Após a apresentação da coloração, foram feitas três medições em cada uma das quatro bordas da seção do corpo de prova cilíndrico, conforme indicação da Figura 4, e anotados os valores para cada uma das idades.

Figura 4 – Indicação da seção e local das medições realizadas nos corpos de prova



Fonte: Autor, 2019

Com esses valores, foi calculada a média e desvio padrão para cada um dos três corpos de prova ensaiados em cada idade, e por fim a média e desvio padrão geral, que representam a penetração dos cloretos naquela determinada idade.

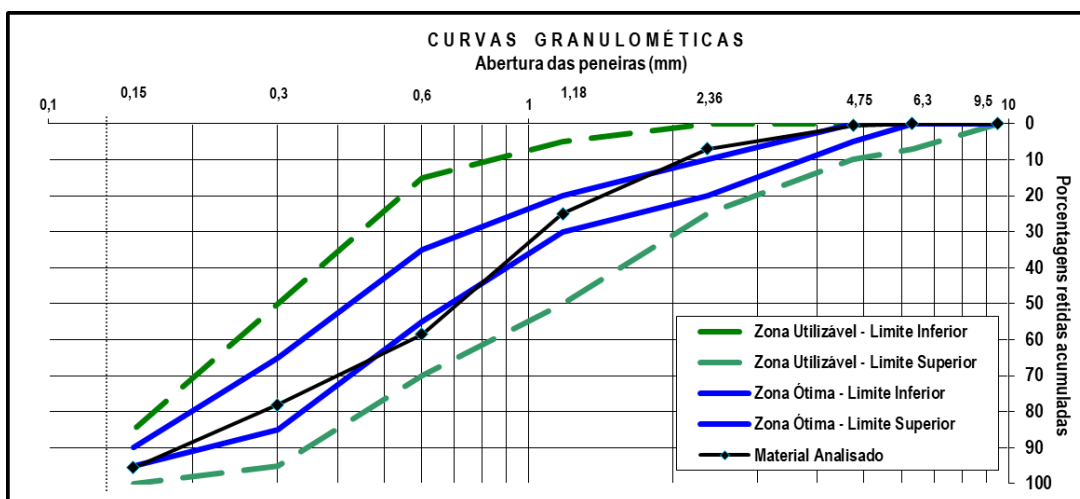
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise Granulométrica

5.1.1 Areia e Pó de Pedra

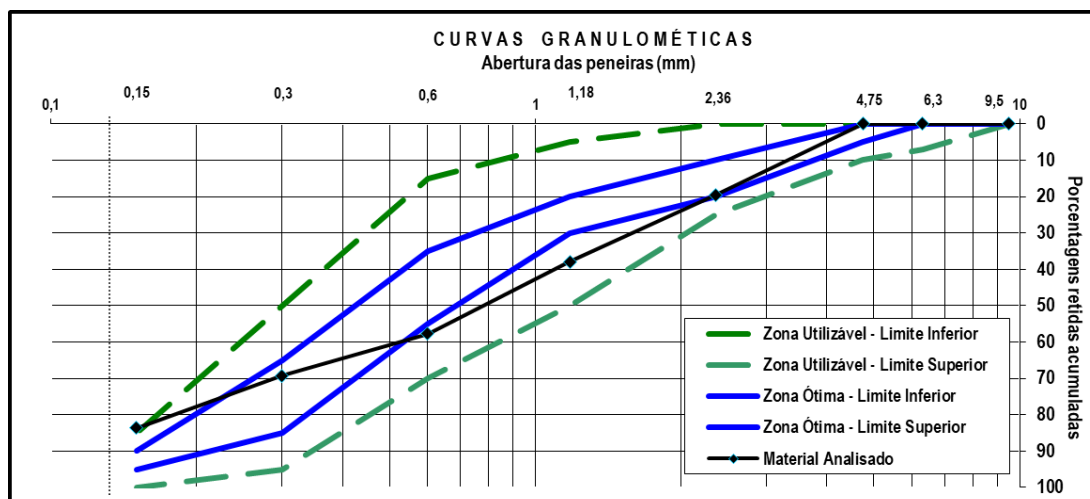
Após secos na estufa por 24 horas, ambos os materiais foram submetidos ao ensaio de peneiramento. Com os valores obtidos foram plotadas as curvas granulométricas correspondentes. Os resultados obtidos são mostrados nas Figuras 5 e 6, onde a primeira mostra a granulometria da areia e a segunda do pó de pedra (PP).

Figura 5 – Granulometria da Areia



Fonte: Autor, 2019

Figura 6 – Granulometria do Pó de Pedra



Fonte: Autor, 2019

Para a areia, pela curva do material analisado foi possível notar que a maioria da curva se encontra dentro da zona ótima, e consequentemente, todos os pontos estão dentro da zona utilizável. Têm-se ainda para a dimensão máxima característica do agregado um valor de 2,36 mm e um módulo de finura de 2,65, sendo classificada assim pela ABNT NBR 7211/2009 como uma areia média.

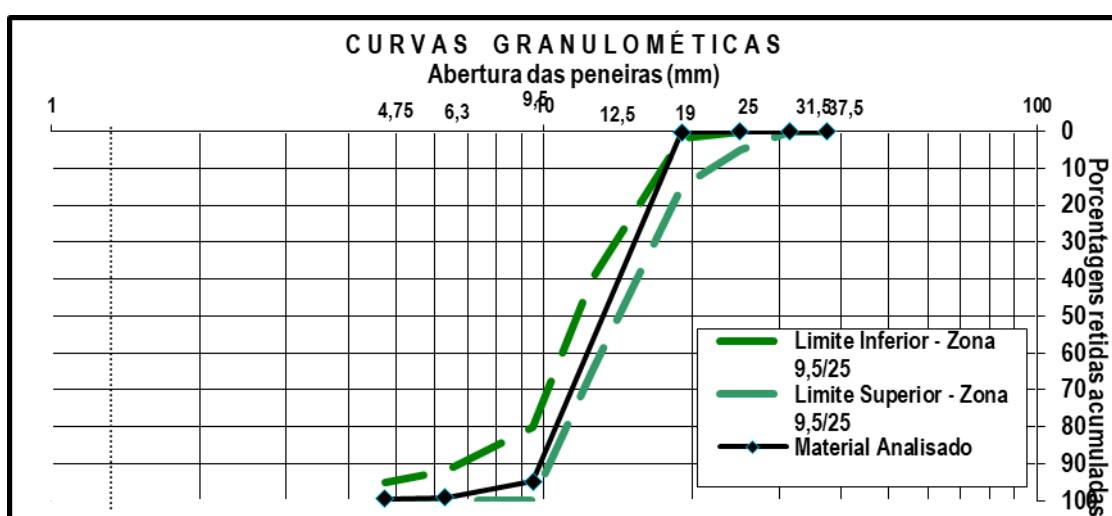
Já para o pó de pedra, encontrou-se uma curva granulométrica que a maioria dos seus pontos se localizam fora da zona ótima, se afastando tanto no limite inferior quanto no superior, mas ainda está na zona utilizável de agregados miúdos. Apresentando uma dimensão máxima de 2,36 mm e um módulo de finura de 2,68, podendo assim o material ser classificado também como uma areia média pela NBR 7211/2009 como uma areia média.

Por meio dessa análise percebeu-se a semelhança dos dois materiais no que diz respeito ao tamanho de seus grãos, onde a dimensão máxima é a mesma em ambos e o módulo de finura teve uma diferença de apenas 0,03.

5.1.2 Brita e RCD

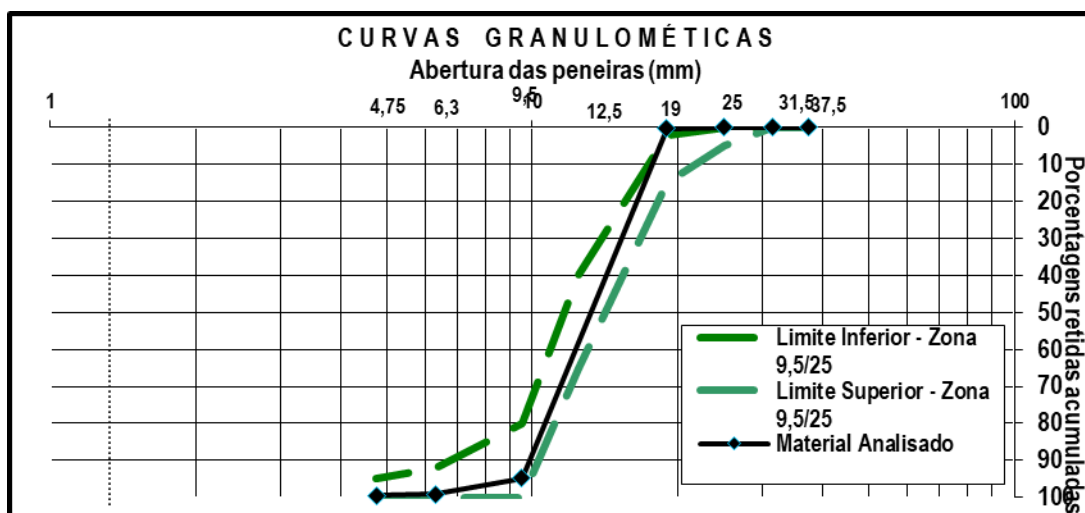
Com relação aos agregados graúdos, pela mesma norma que os anteriores, NBR 248/2003, foi feito o ensaio de granulometria, os resultados obtidos para brita e RCD são mostrados nas Figuras 7 e 8, respectivamente.

Figura 7 – Granulometria da Brita



Fonte: Autor, 2019

Figura 8 – Granulometria do RCD



Fonte: Autor, 2019

Pelas curvas tem-se que tanto para brita, quanto para o resíduo de construção e demolição, o diâmetro máximo do agregado é de 19 mm. Também é possível perceber que as curvas são praticamente idênticas e se encontram dentro da zona utilizável, concluindo-se assim que o resíduo de construção e demolição no que diz respeito a análise granulométrica seria um bom complemento ou substituto à brita.

5.2 Massa Específica Real

5.2.1 Areia e Pó de Pedra

Utilizando o Frasco de Chapman e seguindo os procedimentos prescritos na NBR 9776/1987 obteve-se a medição do aumento do volume no mesmo, sendo assim possível calcular, pela mesma norma, o valor da massa unitária. A Figura 9 mostra essa medição para ambos os materiais.

Figura 9 – Ensaio de Massa Unitária: (A) Areia e (B) Pó de Pedra



(A)

(B)

Fonte: Autor, 2019

Pode-se perceber que ambos os ensaios apresentaram a mesma medição, de 395 ml, pela qual se calculou a massa específica conforme item 7.1 da NBR 9776/1987, obtendo-se consequentemente uma mesma massa unitária de 2560 Kg/m^3 tanto para areia, quanto para o pó de pedra em estudo.

5.2.2 Brita e RCD

Para a determinação da massa específica da brita e RCD foi utilizada a NBR NM 53/2009 e os procedimentos prescritos na mesma, como já mencionado, onde além da massa específica real também se obteve o valor de absorção de água pelos materiais.

Dessa forma, teve-se para brita um valor de 2590 Kg/m^3 para massa específica seca e uma absorção de 0,273%, já para o caso do resíduo de construção e demolição esse valor foi de 2430 Kg/m^3 e para a absorção o resultado foi bem mais representativo que no material anterior, sendo de 7%, comprovando que devido a heterogeneidade dos materiais constituintes do RCD o mesmo possui uma porosidade bem elevada.

5.3 Massa Unitária

Seguindo os procedimentos da NBR NM 45/2006, sendo que para a brita e RCD, por possuírem diâmetro máximo do agregado menor que 37,5 mm foi utilizado o método de ensaio A, e para areia e pó de pedra o método de ensaio C, destinado a massa unitária solta de agregado seco ou úmido.

O ensaio é repetido três vezes, tendo como resultado a média das determinações feitas. Dessa maneira, obteve-se para a areia, pó de pedra, brita e RCD os valores de massa unitária de 1490 Kg/m³, 1498 Kg/m³, 1550 Kg/cm³ e 1330 Kg/m³, respectivamente.

O que se pode notar, é que os valores de massa unitária entre os agregados miúdos e graúdos são bem próximos, ainda mais no comparativo entre a areia e o pó de pedra, mais uma vez apresentando semelhança entre os materiais.

5.4 Quantitativo de Materiais

Tendo-se posse do resultado dos ensaios, e aplicando o método da ABCP e obteve-se uma proporção de 400 kg/m³ de cimento, 660,57 kg/m³ de areia, 1069,50 kg/m³ de brita e 200,00 kg/m³ de água, resultando em um traço em massa de 1:1,65:2,67:0,5. Este traço foi usado para todos os concretos, sendo descontadas as quantidades de areia e brita conforme as porcentagens de substituição. A Figura 10 mostra os corpos de prova após moldagem ainda no estado fresco.

Figura 10 – Corpos de prova após moldagem



Fonte: Autor, 2019

Tendo-se o volume em litros para cada corpo de prova de 1,58 L, sabendo-se que foram moldados 12 corpos de prova em cada traço e que deve ser adicionado um valor de 30% para cada componente devido as perdas, o consumo de material para cada traço realizado é mostrado na Tabela 3 abaixo.

Tabela 3 – Quantitativo de Materiais Utilizados

Traço	Cimento (Kg)	Areia (Kg)	PP (Kg)	Brita (Kg)	RCD (Kg)
Referência	9,86	16,28	-	26,36	-
10 % PP	9,86	14,65	1,63	26,36	-
PP + 5% RCD	9,86	14,65	1,63	25,04	1,32
PP + 10% RCD	9,86	14,65	1,63	23,72	2,64
PP + 15% RCD	9,86	14,65	1,63	22,41	3,95
Total	49,3	74,88	6,52	123,89	7,91

Fonte: Autor, 2019

5.5 Ensaio Tecnológicos no Estado Fresco

5.5.1 Slump Test

Para o estado fresco foi possível avaliar a consistência, pelo abatimento de tronco de cone (slump test), para os diferentes traços feitos, esses valores são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados do ensaio Slump Test

Traço	Resultado (cm)
Referência	8
10% de pó de pedra	5,2
PP + 5% de RCD	7
PP + 10% de RCD	7
PP + 15% de RCD	6,3

Fonte: Autor, 2019

Com base nos valores obtidos é possível perceber que a incorporação de resíduos diminui a consistência do concreto, mesmo sendo compensada a água de

absorção dos agregados reciclados, e não sendo reduzida a quantidade de água inicial. Outro fator observado foi que a incorporação somente do pó de pedra reduziu mais essa característica sendo usado sozinho do que simultâneo aos percentuais de RCD, isso possivelmente se deve ao fato do RCD ter sido pré saturado, enquanto o pó de pedra não.

Segundo Carrijo (2005) a forma mais heterogênea e angular com textura rugosa dos agregados reciclados faz com que haja uma espécie de travamento nas misturas dos concretos, por esses motivos, concretos com incorporações de resíduos apresentam um menor abatimento em relação ao convencional.

5.5.2 Massa Específica Fresca

Para a massa específica no estado fresco, o ensaio também foi realizado logo após a mistura do concreto, conforme os procedimentos da NBR 9833/2008, a Tabela 5 mostra a variação das massas específicas também para cada traço feito.

Tabela 5 – Massa específica fresca

Traço	Resultado (kg/m³)
Referência	2264
10% de pó de pedra	2227
PP + 5% de RCD	2231
PP + 10% de RCD	2282
PP + 15% de RCD	2280

Fonte: Autor, 2019

Os valores apresentados indicam que a incorporação de resíduos tem pouca influência na massa específica fresca do concreto, pois como pode-se perceber a mesma mantém suas unidades de milhar e centena, variando apenas na casa da dezena em todos os casos analisados.

Esses valores, dessa maneira, se enquadram dentro da mesma classificação para concretos propostas pela ABNT NBR 8953/2015, que subdivide os concretos em normal, leve e pesado ou denso, de acordo com sua massa específica. Os concretos em questão por possuírem massa específica entre 2000 Kg/m³ e 2800

Kg/m³ são classificados como normais, possuindo assim uma série de aplicações.

5.6 Caracterização no Estado Endurecido

5.6.1 Ensaio de Penetração de Cloretos

Seguindo os procedimentos descritos no item 3.1.6 realizou-se a verificação da profundidade de penetração de cloretos para cada um dos concretos feitos, a Figura 11 ilustra o ensaio colorimétrico realizado, onde pode-se notar a mudança das cores nas bordas e no centro do corpo de prova.

Figura 11 – Corpo de Prova Apresentando Cl⁻.



Fonte: Autor, 2019

As Tabelas 6, 7, 8, 9 e 10 apresentam as penetrações médias de cloretos para o traço referência, o traço contendo somente os 10% de pó de pedra e os traços com pó de pedra e 5%, 10% e 15% de RCD respectivamente.

Tabela 6 – Penetrações de Cloreto no Concreto Referência

Idade (dias)	Penetrações médias (mm)	Desvio Padrão (mm)
7	5,07	1,32
21	11,29	3,14
28	13,58	2,32

Fonte: Autor, 2019

Tabela 7 – Penetrações de Cloreto no Concreto com Pó de Pedra

Idade (dias)	Penetrações médias (mm)	Desvio Padrão (mm)
7	6,78	1,48
21	12,03	3,73
28	13,93	3,06

Fonte: Autor, 2019

Tabela 8 – Penetrações de Cloreto no Concreto PP + 5% de RCD

Idade (dias)	Penetrações médias (mm)	Desvio Padrão (mm)
7	5,67	1,04
21	8,89	1,24
28	12,2	1,7

Fonte: Autor, 2019

Tabela 9 – Penetrações de Cloreto no Concreto PP + 10% de RCD

Idade (dias)	Penetrações médias (mm)	Desvio Padrão (mm)
7	5,97	1,49
21	9,72	1,22
28	12,84	1,47

Fonte: Autor, 2019

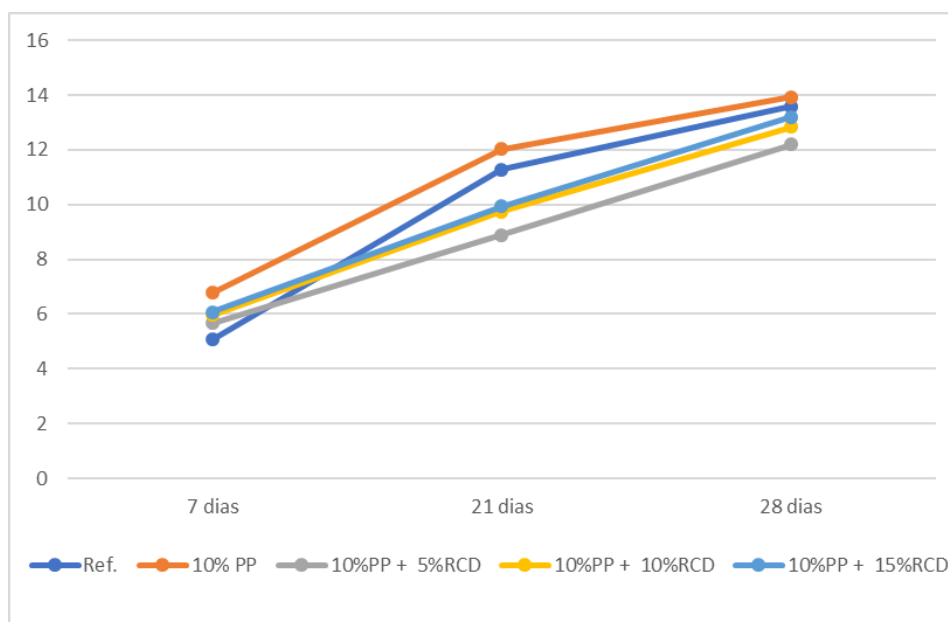
Tabela 10 – Penetrações de Cloreto no Concreto PP + 15% de RCD

Idade (dias)	Penetrações médias (mm)	Desvio Padrão (mm)
7	6,07	1,2
21	9,94	1,08
28	13,21	1,15

Fonte: Autor, 2019

Para todos os traços percebeu-se o aumento gradativo da penetração de cloretos com o passar dos dias, onde a 7 dias as penetrações como um todo variaram aproximadamente entre 5 mm e 6 mm nos corpos de prova ensaiados e aos 28 dias entre 12 mm e 14 mm. A Figura 12 apresenta o comparativo entre evolução das penetrações de acordo com as idades.

Figura 12 – Evolução da Penetração de Cloretos



Fonte: Autor, 2019

Em relação aos corpos de prova com 5%, 10% e 15% de RCD verificou-se que as adições dos resíduos retardaram a penetração de cloretos para todas as idades com relação ao concreto referência, isso pode ter se advindo da pré saturação dos resíduos, contribuindo para um melhor adensamento e consequente fechamento dos poros.

Os CPs que tiveram maiores penetrações foram os que continham apenas pó de pedra, enquanto os com menores foram os com pó de pedra e adição de 5% de RCD, isso possivelmente se deve ao fato já mencionado, pré saturação, que sendo também feita para 10% e 15% de resíduos, ficaram todas com valores abaixo do concreto referência. Verifica-se também que à medida que foi-se aumentando a incorporação do resíduo de construção e demolição a profundidade da penetração dos íons cloretos também aumentou.

Na literatura existem poucos trabalhos relacionados a avaliação da durabilidade pela penetração de cloretos em concretos com incorporação de resíduos da natureza destes utilizados, mas estudos semelhantes realizados por Poon e Kou (2006) e Silva (2017) comprovam que um aumento no percentual de resíduos diminui a resistência dos concretos a penetração de cloretos, fator esse ligado ao aumento consequente da permeabilidade desses concretos.

Sun e Chen (2018) ainda afirmam que concretos com até 24% de adição de pó de pedra ainda pode possuir uma resistência à penetração de íons cloreto e ataque de sulfatos semelhantes ao concreto convencional, com base na resistência à compressão constante de 28 dias.

5.6.2 Absorção do Concreto

O ensaio de absorção complementa a avaliação da durabilidade do concreto, uma vez que a porosidade está diretamente relacionada com a mesma, e por consequência quanto mais poros tiver o concreto, maior a penetração de agentes agressivos, como os íons de cloreto, por exemplo.

Diante disso, o ensaio e procedimentos da NBR 9778/2005 permitiram quantificar e posteriormente fazer um comparativo da absorção para os diferentes traços de concretos produzidos. A Tabela 11 apresenta os valores obtidos em ensaio.

Tabela 11 – Ensaio de Absorção dos Concretos

Traço	Absorção (%)
Referência	4,73
10% de pó de pedra	6,19
PP + 5% de RCD	6,28
PP + 10% de RCD	6,42
PP + 15% de RCD	6,53

Fonte: Autor, 2019

Pode-se notar que a absorção dos concretos foi aumentando à medida que se aumentou a quantidade de resíduos, fator esse relacionado com as características dos agregados reciclados em absorver mais água.

Mas ao se fazer um comparativo entre os dois ensaios para o estado endurecido percebe-se que o concreto referência tem uma menor porosidade, porém sua penetração de cloretos foi maior que os corpos de prova com RCD. De acordo com SOTO (2017) isso pode estar relacionado com o fato de os resíduos terem uma saturação antes de misturados ao concreto, pois reduziram assim a absorção da água de amassamento, podendo ainda terem liberado sua própria água, favorecendo uma cura interna do concreto.

6 CONCLUSÃO

Mediante ao estudo realizado foi possível perceber a importância, por questões ambientais, de se incorporar resíduos na construção civil. Com base nos resultados obtidos identificou-se ainda que essas adições podem ser benéficas em relação a durabilidade e custo, demonstrando assim a viabilidade do seu emprego.

Pela caracterização dos materiais notou-se a real semelhança entre os agregados naturais e os sintéticos, características essas, que para o percentual de resíduos utilizados, também produziram concretos no estado fresco e endurecido com propriedades semelhantes a um concreto convencional.

No estado fresco é importante ressaltar a redução na consistência do concreto mediante a incorporação de resíduos, problema esse que possivelmente possa ser contornado com o uso de algum aditivo na fabricação do concreto.

A avaliação da penetração de cloretos, por meio do ensaio de aspersão do nitrato de prata, demonstrou que no uso simultâneo dos dois resíduos, pó de pedra e RCD, há uma redução na degradação dos concretos e por consequência um aumento na durabilidade, principalmente em menores quantidades de RCD utilizados, afirmativa essa confirmada pelo ensaio de absorção, que demonstrou um aumento crescente ao se aumentar também a quantidade de resíduos.

De modo geral, pode-se concluir que o traço com as adições de 10% de pó de pedra simultânea a 5% de RCD é a melhor opção para um projeto de reaproveitamento de resíduos. E, seu uso fora de áreas com alta agressividade ao concreto pode ser ainda mais eficiente, possibilitando diferentes aplicações ao concreto produzido.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Por meio da pesquisa desenvolvida têm-se a perspectiva da continuação e motivação para novos estudos relativos. Diante disso, são sugeridos alguns pontos para trabalhos futuros:

- Analisar a influência dos resíduos em maiores teores de substituição;
- Verificar a durabilidade mediante a outros agentes agressivos, como sulfatos e dióxido de carbono;
- Fabricar concretos, com os resíduos utilizados na pesquisa, em diferentes relações água/cimento e aditivos;
- Avaliar outras propriedades dos concretos produzidos como resistência à tração, retração e módulo de elasticidade.

REFERÊNCIAS

ABCP. Associação Brasileira de Cimento Portland. Disponível em: <<https://www.abcp.org.br/cms/>>. Acesso em 19 de julho de 2019.

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. 2016. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/Panorama/panorama2016.pdf>>. Acesso em 7 de abril de 2019.

AKHTAR, Ali; SARMAH, Ajit K. Construction and demolition waste generation and properties of recycled aggregate concrete: A global perspective. Journal of Cleaner Production, v. 186, p. 262-281, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11768 - Aditivos para Concreto de Cimento Portland requisitos. Rio de Janeiro. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738 - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8953: Concretos para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9833: Concreto fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 45: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro. 2006.

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

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

CARRIJO, Priscila Meireles. Análise da influência da massa específica de agregados graúdos provenientes de resíduos de construção e demolição no desempenho mecânico do concreto. 2005. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

CARVALHO, Roberto Chust; PINHEIRO, Libânio Miranda. Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado. EdUFSCar. 4 Ed. 2014.

CASTRO, Elisângela de et al. Estudo da resistência à compressão do concreto por meio de testemunhos de pequeno diâmetro e esclerometria. 2009.

DI DOMENICO, Paula et al. Influence of fine recycled aggregate in concrete compressive strength and porosity/Influencia do agregado miúdo reciclado na resistencia a compressao e porosidade do concreto/Influencia del agregado reciclado en la resistencia a la compresion y porosidad del concreto. Revista Internacional de Ciências, v. 8, n. 1, p. 129-148, 2018.

DOS SANTOS, Sebastião Batista Jordão Silva et al. Utilização de resíduos de corpos de prova em substituição do agregado graúdo de concretos. Revista InterScientia, v. 4, n. 2, p. 137-151, 2016.

DUARTE, João Batista. Estudo da substituição de agregados miúdos naturais por pó de pedra em concreto de cimento portland. 2013. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

FERREIRA, Ruan Landolfo da Silva. Efeitos da incorporação de areia reciclada de resíduos de construção e demolição (RCD) em argamassas mistas de revestimento. 2017. Dissertação de Mestrado. Brasil.

GONG, Chenchen et al. Effects of limestone powders on pore structure and physiological characteristics of planting concrete with sulfoaluminate cement. Construction and Building Materials, v. 162, p. 314-320, 2018.

LIMA, J. F. (2013) Avaliação da incorporação de cinzas de lodo de esgoto como adição mineral em concretos de Cimento Portland. Dissertação (Mestrado), Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 77 p.

MEHTA, Povindar Kumar; MONTEIRO, Paulo Jose Melaragno. Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. Ibracon, 2008.

MEHTA, Povindar Kumar; MONTEIRO, Paulo Jose Melaragno. Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. Ibracon, 2014.

MENOSSEI, Rômulo Tadeu. Utilização do pó de pedra basáltica em substituição à areia natural do concreto. 2004.

MONTE JÚNIOR; I; V. Influência do agregado reciclado de concreto no comportamento de argamassas mistas para uso em revestimento. 2017. Dissertação de Mestrado. Brasil.

NEVILLE, A. M., J.J. BROOKS. Tecnologia do concreto. Bookman Editora, 2013.

POON, C. S.; KOU, S. C. Compressive strength, pore size distribution and chloride ion penetration of recycled aggregate concrete incorporating class-fly ash. Journal of Wuhan University of Technology Materials Science, Vol 21, N4, 2006.

RYOU, Jaesuk et al. Durability of cement mortars incorporating limestone filler exposed to sodium sulfate solution. KSCE Journal of Civil Engineering, v. 19, n. 5, p. 1347-1358, 2015.

SILVA, Guilherme Augusto de Oliveira. Avaliação da durabilidade de concretos contendo agregados reciclados de resíduos de construção civil (RCC). 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Bahia.

SILVA, José Daniel Jales. Avaliação da potencialidade de incorporação de um lodo de uma indústria de produtos de limpeza como adição mineral em concretos de cimento Portland. 2015. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

SOTO, Nicolle Talyta Arriagada et al. Avaliação do uso de agregado de resíduo de construção civil nas propriedades do concreto no slump para fabricação de artefatos de concreto. 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

SUN, Jianwei; CHEN, Zhonghui. Influences of limestone powder on the resistance of concretes to the chloride ion penetration and sulfate attack. Powder Technology, v. 338, p. 725-733, 2018.

TROIAN, Aline. Avaliação da durabilidade de concretos produzidos com agregado reciclado de concreto frente à penetração de íons cloreto. 2010.

XIAO, Jianzhuang et al. Mechanical properties of concrete mixed with recycled powder produced from construction and demolition waste. Journal of Cleaner Production, v. 188, p. 720-731, 2018.