

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DE AGREGADO
RECICLADO PARA A PRODUÇÃO DE ARTEFATOS DE
CONCRETO SEM FUNÇÃO ESTRUTURAL**

RENAN ANDRÉ DE OLIVEIRA SOARES

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL 2 EM ENGENHARIA
CIVIL**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

FACULDADE DE TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DE AGREGADO
RECICLADO PARA A PRODUÇÃO DE ARTEFATOS DE
CONCRETO SEM FUNÇÃO ESTRUTURAL**

RENAN ANDRÉ DE OLIVEIRA SOARES

**ORIENTADOR: CLAUDIO HENRIQUE DE ALMEIDA FEITOSA
PEREIRA**

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL 2 EM ESTRUTURAS
E CONSTRUÇÃO CIVIL**

BRASÍLIA – DF, DEZEMBRO DE 2019.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DE AGREGADO
RECICLADO PARA A PRODUÇÃO DE ARTEFATOS DE
CONCRETO SEM FUNÇÃO ESTRUTURAL**

RENAN ANDRÉ DE OLIVEIRA SOARES

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDO AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.

APROVADA POR:

Prof. Cláudio Henrique de Almeida Feitosa Pereira, Dr. (ENC/UnB)
(ORIENTADOR)

Thiago da Silva Santana, Engenheiro Civil
(EXAMINADOR EXTERNO)

Prof^ª. Cláudia Marcia Coutinho Gurjão, Dra. (ENC/UNB)
(EXAMINADORA)

BRASÍLIA/DF, 12 DE DEZEMBRO DE 2019.

SOARES, RENAN ANDRÉ DE OLIVEIRA
Avaliação do Potencial de Utilização de Agregado Reciclado para a Produção de Artefatos de Concreto Sem Função Estrutural. [Distrito Federal] 2019.

X, 60p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Estruturas e Construção Civil, 2019).
Monografia de Projeto Final – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Agregado Reciclado

3. Resíduos da Construção Civil e Demolição

I. ENC/FT/UnB

2. Artefatos de Concreto

4. Critérios

II. Título (Bacharel)

FICHA CATALOGRÁFICA

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SOARES, R. A. O. (2019). Utilização de Agregado Reciclado na Produção de Artefatos de Concreto Sem Função Estrutural. Monografia de Projeto Final 2, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 60p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Renan André de Oliveira Soares

TÍTULO: Avaliação do Potencial de Utilização de Agregado Reciclado para a Produção de Artefatos de Concreto Sem Função Estrutural

GRAU: Bacharel

ANO: 2019

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta Monografia de Projeto Final 2 e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa Monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Renan André de Oliveira Soares

Vila Buritizinho, QR 3 Conj. C Casa 10

CEP: 73061-185, Brasília/DF, Brasil.

E-mail: renan.a.soares@hotmail.com

RESUMO

Avaliação do Potencial de Utilização de Agregado Reciclado para a Produção de Artefatos de Concreto Sem Função Estrutural

Autor: Renan André de Oliveira Soares

Orientador: Cláudio Henrique de Almeida Feitosa Pereira

Brasília, Dezembro de 2019

Os resíduos da construção civil (RCC), tem-se tornado um grande problema em todo mundo e, a partir de novas tecnologias, pode-se aplicar uma logística reversa e reciclar esses resíduos, transformando-os em agregados reciclados. Sendo assim, procuram-se meios onde possam ser aplicados esses agregados reciclados e no qual pode-se melhorar sua qualidade, podendo aplicá-lo de volta ao meio construtivo, reaproveitando aquele material que seria perdido. Desta forma, este projeto tem por fim avaliar, em um estudo de caso, o potencial de utilização do agregado proveniente do processo de reciclagem dos resíduos sólidos minerais produzidos pela construção civil do Distrito Federal e entorno nas atividades de construção e demolição, para uso na produção de artefatos de concreto não estruturais, com intuito de atender aos requisitos da logística reversa do setor, as normas e legislações vigentes. Foi estudado a granulometria, a massa específica, a absorção de água e o teor de material passante na peneira de 75 μm para o agregado reciclado da região rural de São Sebastião no Distrito Federal. A partir dos dados obtidos, tem-se que o material estudado atende em sua maioria aos requisitos de norma, no qual a curva granulométrica precisa ser adequada para a areia e o pedrisco e a absorção de água está no limite de norma para o segundo material citado. Em geral, esse agregado reciclado está próximo de atender aos requisitos exigidos pela norma, sendo que são necessárias algumas adequações ao processo de produção para atender aos requisitos em sua totalidade. Além disso, sugere-se uma metodologia simplificada para garantir a qualidade do processo e permitir a produção de artefatos de concreto utilizando agregado reciclado. Os agregados avaliados apresentam potencial para uso na produção de artefatos de concreto não estruturais. Quando utilizados para esse fim, pode-se afirmar que estarão enquadrados na política de logística reversa dentro da Cadeia Produtiva da Construção Civil.

Palavras chave: Agregado Reciclado; Artefatos de Concreto; Resíduos da Construção Civil e Demolição; Caracterização; Critérios.

SUMÁRIO

| | | |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | Introdução..... | 1 |
| 1.1 | Objetivo da Pesquisa..... | 2 |
| 1.1.1 | Objetivo Geral | 2 |
| 1.1.2 | Objetivos Específicos | 2 |
| 2 | Revisão Bibliográfica | 3 |
| 2.1 | Resíduos da Construção Civil e demolição (RCC) como Aproveitamento para Produção de Agregado Reciclado..... | 3 |
| 2.2 | Agregado Reciclado..... | 4 |
| 2.2.1 | Critérios | 6 |
| 2.3 | Propriedades Estudadas | 8 |
| 2.3.1 | Granulometria..... | 8 |
| 2.3.2 | Massa Específica e Massa Unitária | 9 |
| 2.3.3 | Absorção de Água | 10 |
| 3 | Metodologia..... | 11 |
| 3.1 | Escolha da Empresa | 11 |
| 3.2 | Caracterização..... | 11 |
| 3.2.1 | Amostragem..... | 12 |
| 3.2.2 | Composição granulométrica..... | 12 |
| 3.2.3 | Teor de material passante na peneira de 0,42 mm..... | 15 |
| 3.2.4 | Teor de material passante na malha 75 µm (%) | 15 |
| 3.2.5 | Caracterizações específicas do agregado graúdo..... | 16 |
| 3.2.6 | Caracterizações específicas do agregado miúdo | 17 |
| 3.3 | Critérios Sugeridos para Avaliação dos Agregados Reciclados Destinados à Produção de Artefatos de Concreto não Estruturais..... | 18 |
| 4 | Resultados..... | 20 |
| 4.1 | Escolha da Empresa | 20 |

| | | |
|-------|---------------------------------------------------|----|
| 4.2 | Caracterização Dos Agregados Reciclados | 24 |
| 4.2.1 | Agregado Miúdo..... | 24 |
| 4.2.2 | Agregado Graúdo | 26 |
| 4.3 | Análise dos Resultados | 30 |
| 4.3.1 | Agregado Miúdo..... | 30 |
| 4.3.2 | Agregado Graúdo | 35 |
| 4.3.3 | Influência do Tempo na Retirada das Amostras..... | 41 |
| 5 | Conclusão | 42 |
| 5.1 | Sugestões para Pesquisas Futuras | 44 |
| 6 | Referências Bibliográficas..... | 45 |
| 7 | Anexos..... | 48 |
| 7.1 | Anexo A – Dados Coletados em Laboratório..... | 48 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 2.1 - Produtos e recomendações na utilização do Agregado Reciclado | 5 |
| Tabela 2.2 - Requisitos gerais para agregado reciclado destinado a pavimentação | 6 |
| Tabela 2.3 – Requisitos específicos para agregado reciclado destinado a pavimentação | 7 |
| Tabela 2.4 - Requisitos para agregado reciclado destinado ao preparo de concreto sem função estrutural | 7 |
| Tabela 2.5 – Disposição da Areia segundo..... | 9 |
| Tabela 2.6 - Resultados dos ensaios de caracterização dos agregados miúdo e graúdo e as suas respectivas normas | 9 |
| Tabela 3.1 - Quantidade de amostra para análise granulométrica | 13 |
| Tabela 4.1 – Granulometria do material estudado..... | 23 |
| Tabela 4.2 – Dados Obtidos para o Agregado Miúdo | 24 |
| Tabela 4.3 – Porcentagem Acumulada do Agregado Miúdo..... | 25 |
| Tabela 4.4 – Massa Específica e Absorção de Água do Agregado Miúdo. | 26 |
| Tabela 4.5 – Frações do Agregado Miúdo | 26 |
| Tabela 4.6 – Dados obtidos para o Pedrisco..... | 27 |
| Tabela 4.7 – Porcentagem Acumulada do Pedrisco | 27 |
| Tabela 4.8 – Massa Específica e Absorção do Pedrisco..... | 28 |
| Tabela 4.9 – Dados Obtidos para a Brita..... | 29 |
| Tabela 4.10 – Porcentagem Acumulada da Brita | 29 |
| Tabela 4.11 – Massa Específica e Absorção de Água da Brita | 30 |
| Tabela 7.1 – Dados Coletados na Granulometria da Areia | 48 |
| Tabela 7.2 – Dados Coletados na Granulometria do Pedrisco | 48 |
| Tabela 7.3 – Dados Coletados na Granulometria da Brita | 49 |
| Tabela 7.4 – Dados Coletados para Massa Específica e Absorção de Água..... | 49 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 4.1 - Vista do local de separação na usina de reciclagem e dos materiais triados para reciclagem..... | 20 |
| Figura 4.2 - Entrada do resíduo triado, após secagem, na Usina de Reciclagem..... | 21 |
| Figura 4.3 - Vista geral da Usina de Reciclagem..... | 21 |
| Figura 4.4 - Pilha de Areia Reciclada..... | 22 |
| Figura 4.5 - Pilha de Pedrisco Reciclado..... | 22 |
| Figura 4.6 – Pilha de Brita 1 Reciclada..... | 23 |
| Figura 4.7 – Pilha de Rachão Reciclado..... | 23 |
| Figura 4.8 – Curva Granulométrica do Agregado Miúdo..... | 25 |
| Figura 4.9 – Curva Granulométrica do Pedrisco..... | 28 |
| Figura 4.10 – Curva Granulométrica da Brita..... | 29 |
| Figura 4.11– Gráfico das Zonas para o Agregado Miúdo..... | 31 |
| Figura 4.12 – Média das Amostra x Zona Utilizável..... | 31 |
| Figura 4.13 – Massa Específica do Agregado Miúdo..... | 32 |
| Figura 4.14 – Absorção de Água do Agregado Miúdo..... | 33 |
| Figura 4.15 – Frações do Agregado Miúdo..... | 34 |
| Figura 4.16 - Material Passante na Peneira de 75 µm (Agregado Miúdo)..... | 34 |
| Figura 4.17 - Gráfico das Zonas para o Pedrisco..... | 35 |
| Figura 4.18 - Média das Amostra x Zona Utilizável..... | 36 |
| Figura 4.19 – Massa Específica do Pedrisco..... | 37 |
| Figura 4.20 – Absorção de Água do Pedrisco..... | 37 |
| Figura 4.21 - Material Passante na Peneira de 4,75 mm (Pedrisco)..... | 38 |
| Figura 4.22 - Gráfico das Zonas para a Brita..... | 39 |
| Figura 4.23 - Média das Amostra x Zona Utilizável..... | 39 |
| Figura 4.24 – Massa Específica da Brita..... | 40 |
| Figura 4.25 – Absorção de Água da Brita..... | 40 |
| Figura 4.26 - Material Passante na malha de 4,75 mm (Brita)..... | 41 |

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas ABRECON - Associação Brasileira para Reciclagem de RCC

ARC – Agregado de Resíduo de Concreto

ARM – Agregado de Resíduo Misto

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

NBR - Normas Brasileiras

RCC - resíduos sólidos da construção civil

1 INTRODUÇÃO

A geração de resíduos e a disposição deles é um grande problema da atualidade e uma das soluções presentes é a reciclagem desses resíduos. Um desses grandes geradores é a construção civil, mas boa parte dos resíduos gerados pode ser reciclada formando o agregado reciclado.

Um dos problemas na geração desse agregado é a sua utilização, sendo que muitas vezes esse material é utilizado para fazer aterros ou afins sem saber a qualidade do mesmo e quais são os futuros problemas que ele pode causar.

Segundo Hawlitschek (2014), “No Brasil a estimativa é de que são geradas mais de 70 milhões de toneladas de RCC por ano, ficando atrás apenas da produção de minério de ferro, areia e brita”. Ainda segundo Hawlitschek (2014), “No Brasil a produção de areia e brita, em 2011, foi de quase 600 milhões de toneladas, sendo 90% da produção destinado à construção civil”.

Já o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil de 2016 da ABRELPE mostra que os municípios coletaram cerca de 45,1 milhões de toneladas de RCC em 2016 e cerca de 45 milhões em 2017, o que configura uma diminuição de 0,08% em relação a 2015. Já o Centro Oeste teve o índice de coleta médio de RCC de 13.813 toneladas por dia em 2016 e 13.574 toneladas por dia em 2017. Pode-se notar que esse valor está menor comparado a média de Hawlitschek (2014), mostrando uma queda que acompanhou a economia do país, mas a produção de RCC deve voltar com a retomada da economia no país.

Segundo o site da ABRECON,

“por as cidades já estarem entrando em colapso pela escassez de espaço para o descarte de entulho, já há uma visão mais avançada sobre a gestão dos resíduos, bem como, a responsabilidade pela geração e, incrivelmente, a transferência de responsabilidade por parte da prefeitura para o gerador”

E o Distrito Federal não é diferente.

A escassez de depósitos para esses resíduos faz com que o custo, que já era elevado, fique mais elevado. Sendo assim, alguns empresários procuram viabilizar a construção de usinas de reciclagem para esse material e possíveis destinos para a utilização do produto gerado.

Sabendo-se disso, esse trabalho vem para buscar uma avaliar o potencial de utilização do agregado reciclado, verificando a qualidade do mesmo e se estão conforme normas e legislações, buscando possíveis melhorias e implementações. Além disso, busca-se como incentivo a utilização da logística reversa para reciclagem do RCC, pois a geração dele é muito grande e precisa ser aproveitada.

1.1 OBJETIVO DA PESQUISA

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo da pesquisa é a avaliação tecnológica do potencial de utilização do agregado proveniente do processo de reciclagem dos resíduos sólidos minerais produzidos pela construção civil do Distrito Federal e entorno nas atividades de construção e demolição, para uso na produção de artefatos de concreto não estruturais, com intuito de atender aos requisitos da logística reversa do setor, as normas e legislações vigentes.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar o processo atual de produção de agregados recicláveis quanto ao atendimento às exigências legais e ambientais da atividade de produção de agregados reciclados no Distrito Federal e entorno;
- Elencar os requisitos técnicos e propor uma metodologia simplificada para caracterizar os agregados reciclados para uso na produção de artefatos de concreto não estruturais; e
- Avaliar o potencial dos agregados reciclados produzidos no Distrito Federal e entorno para uso na produção de artefatos de concreto não estruturais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse tópico serão abordados alguns temas e revisões teóricas para a realização desse projeto, sendo estudado alguns conceitos como resíduos da construção civil, agregados reciclados, artefatos de concreto sem fim estrutural e as normas e legislações que regem esses materiais e produtos.

2.1 RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC) COMO APROVEITAMENTO PARA PRODUÇÃO DE AGREGADO RECICLADO

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) com sua resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, vem para regulamentar a utilização de resíduos sólidos para construção civil, estabelecendo assim alguns critérios, diretrizes e procedimentos para a gerir esses resíduos. Sendo assim, pode-se definir resíduos sólidos da construção civil (RCC) como sendo, segundo a resolução nº 307 do CONAMA,

“provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha”.

A partir dos RCC, pode-se realizar uma reciclagem modificando esse material, que seria descartado, para agregados, comumente chamados de agregados reciclados. A resolução nº 307 do CONAMA define agregado reciclado como sendo “o material granular proveniente do beneficiamento de RCC que apresentem características técnicas para a aplicação em obras de edificação, de infraestrutura, em aterros sanitários ou outras obras de engenharia”. Ou seja, além de ter-se benefícios para o meio ambiente, pode-se ter um lucro a partir desse material que não era aproveitado.

Sendo assim, A resolução nº 307 do CONAMA divide os RCC em quatro classes, sendo elas descritas abaixo:

Classe A – são aqueles resíduos que são utilizados para produção de agregados reciclados (ex.: cerâmicas, concreto, pré-moldados, granito, mármore, entre outros).

Classe B – são aqueles resíduos que são recicláveis, mas não são utilizados na produção de agregado reciclado (ex.: plástico, vidro, papel, entre outros).

Classe C – são os resíduos que ainda não possuem tecnologia para sua reciclagem ou o processo é muito oneroso para sua realização (ex.: gesso, isopor, entre outros).

Classe D – são os resíduos que são perigosos, ou seja, podem ter algum dano pro meio ambiente ou para a saúde humana (ex.: tinta, verniz, solventes, entre outros).

Pode-se notar que a resolução define que os agregados reciclados devem ser de classe A. Sendo assim, a gama de material que pode ser utilizado para tal fim é muito extensa e precisa ser bem estudada para ser aproveitada da melhor maneira, ajudando o meio ambiente e trazendo lucro para aqueles que pretendem reciclar os RCC.

Além da resolução nº 307 do CONAMA, temos a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 e o Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010 que institui a política nacional de resíduos sólidos, no qual é citado a logística reversa. Segundo essa Lei e o Decreto, tem-se que a logística reversa é

“O instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado pelo conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada.”

Sendo assim, a logística reversa vem para reaproveitar aqueles resíduos sólidos como a reciclagem de RCC para algum fim, seja para reaproveitamento, recuperação, reparação, revenda ou até reciclagem de fim de vida, ou seja, traz um benefício socioeconômico para aquilo que seria descartado e evita danos ambientais.

2.2 AGREGADO RECICLADO

Um dos grandes problemas atuais na construção civil é a disposição dos seus resíduos. Como uma das melhores soluções encontradas para muitos materiais atualmente é a logística reversa, pois recomeça o ciclo de vida do material procurando algum meio para recuperação do mesmo como a reciclagem, transformando-o em agregado reciclado.

Segundo o site da ABRECON,

“Com um trabalho planejado e organizado, a implantação de uma usina

de reciclagem de RCC pode gerar benefícios sociais para a cidade e ainda dar um retorno financeiro relativamente alto para o empresário, dado as condições ofertadas, tais como matéria prima e venda dos produtos”.

Conforme Angulo (2009), normalmente as usinas utilizam um processo de extração das sucatas e outros contaminantes orgânicos, britagem e peneiramento a seco, ou seja, as usinas possuem um processo relativamente simples, o que poderia trazer uma economia na compra do agregado ao substituir o agregado natural e artificial.

A ABRECON também cita que

“A comparação técnica não faz o reciclado menor ou menos eficiente em detrimento do convencional. A comparação, feita em meados de 2008 com técnicos e alunos da USP, mostrou que o produto reciclado tem uma consistência igual ao produto convencional, ou seja, mesmas características de medida, peso e durabilidade”.

A ABRECON também mostra os produtos que as usinas geram e algumas recomendações para sua utilização, com materiais isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto, conforme a Tabela 2.1:

Tabela 2.1 - Produtos e recomendações na utilização do Agregado Reciclado

| Produto | Característica | Uso recomendado |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Areia Reciclada | Material com dimensão máxima característica inferior a 4,8 mm. | Argamassas de assentamento de alvenaria de vedação, contrapisos, solo-cimento, blocos e tijolos de vedação. |
| Pedrisco Reciclado | Material com dimensão máxima característica de 6,3 mm. | Fabricação de artefato de concreto, como bloco de vedação, piso intertravados, manilha de esgoto, entre outros. |
| Brita Reciclada | Material com dimensão máxima característica inferior a 39 mm. | Fabricação de concretos não estruturais e obras de drenagens. |
| Bica Corrida | Material com dimensão máxima característica de 63 mm (ou a critério do cliente). | Obras de base e sub-base de pavimentos, reforço e subleito de pavimentos, além de regularização de vias não pavimentadas, aterros e acerto topográfico de terrenos. |
| Rachão | Material com dimensão máxima característica inferior a 150 mm. | Obras de pavimentação, drenagens e terraplenagem. |

Fonte: Urbem Tecnologia Ambiental

Ou seja, há uma grande gama de possibilidades de utilização do agregado reciclado.

Mas mesmo com essas recomendações, o agregado reciclado precisa atender a alguns critérios de normas e legislações brasileiras, conforme será apresentado no próximo tópico.

2.2.1 Critérios

O agregado reciclado é um material que provém de resíduos da construção civil, mas esse material sem um controle rigoroso em sua reciclagem não pode ser usado para fim estrutural, sendo assim, procura-se métodos para utilizar esse agregado para fins não estruturais. Para isso, tem-se a ABNT NBR 15116:2004 - Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural, que tem como finalidade apresentar os requisitos para o emprego de tais materiais para produção e utilização em concreto sem função estrutural.

O agregado pode ser dividido em duas classificações, sendo elas Agregado de Resíduo de Concreto (ARC) e Agregado de Resíduo Misto (ARM). A diferença entre as duas é que ARC possui composição, na sua fração graúda, de no mínimo 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas e ARM possui menos que 90%.

Seguindo a norma, tem-se que os requisitos gerais para agregado reciclado destinado a pavimentação, conforme apresentado na Tabela 2.2:

Tabela 2.2 - Requisitos gerais para agregado reciclado destinado a pavimentação

| Propriedades | Agregado reciclado classe A | | Normas de ensaios | |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------|-------------------|----------------|
| | Graúdo | Miúdo | Agregado Graúdo | Agregado Miúdo |
| Composição granulométrica | Não uniforme e bem graduado com coeficiente de uniformidade $C_u > 10$ | | ABNT NBR 7181 | |
| Dimensão máxima característica | $\leq 63\text{mm}$ | | ABNT NBR NM 248 | |
| Índice de forma | ≤ 3 | - | ABNT NBR 7809 | - |
| Teor de material passante na peneira de 0,42 mm | Entre 10% e 40% | | ABNT NBR 7181 | |
| Contaminantes - teores máximos em relação à massa do agregado reciclado (%) | Materiais não minerais de mesmas características ¹ | 2 | Anexo A | Anexo B |
| | Materiais não minerais de características distintas ¹ | 3 | Anexo A | Anexo B |

| | | |
|----------|---|---------------|
| Sulfatos | 2 | ABNT NBR 9917 |
|----------|---|---------------|

¹ Para os efeitos desta norma, são exemplos de materiais não minerais: madeira, plástico, betume, materiais carbonizados, vidros e vidrados cerâmicos.

Fonte: ABNT NBR 15116:2004

Além dos requisitos gerais, há os requisitos específicos para agregado reciclado destinado a pavimentação, no qual obtêm-se alguns parâmetros que devem ser seguidos, conforme mostrado na Tabela 2.3 e 2.4:

Tabela 2.3 – Requisitos específicos para agregado reciclado destinado a pavimentação

| Aplicação | ISC (CBR) % | Expansibilidade % | Energia de compactação |
|------------------------------------------------------------|----------------|----------------------|-----------------------------|
| Material para execução de reforço de subleito | ≥ 12 | ≤ 1,0 | Normal |
| Material para execução de revestimento primário e sub-base | ≥ 20 | ≤ 1,0 | Intermediária |
| Material para execução de base de pavimento ¹ | ≥ 60 | ≤ 0,5 | Intermediária ou modificada |

¹Permitido o uso como material de base somente para vias de tráfego com $N \leq 10^6$ repetições do eixo padrão de 8,2 tf (80 kN) no período de projeto.

Fonte: ABNT NBR 15116:2004

Tabela 2.4 - Requisitos para agregado reciclado destinado ao preparo de concreto sem função estrutural

| Propriedades | Agregado reciclado classe A | | | | Normas de Ensaio | |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------|--------|-------|------------------|----------------|
| | ARC | | ARM | | Agregado graúdo | Agregado miúdo |
| | Graúdo | Miúdo | Graúdo | Miúdo | | |
| Teor de fragmentos à base de cimento e rochas (%) | ≥ 90 | - | < 90 | - | Anexo A | - |
| Absorção de água (%) | ≤ 7 | ≤ 12 | ≤ 12 | ≤ 17 | ABNT NBR NM 53 | ABNT NBR NM 30 |
| Contaminantes - teores máximos em relação à massa do agregado reciclado (%) | Cloretos | | 1 | | ABNT NBR 9917 | |
| | Sulfatos | | 1 | | ABNT NBR 9917 | |
| | Materiais não minerais ¹ | | 2 | | Anexo A | Anexo B |
| | Torrões de argila | | 2 | | ABNT NBR 7218 | |
| | Teor total máximo de contaminantes | | 3 | | - | |
| Teor de material passante na malha 75 µm (%) | ≤ 10 | ≤ 15 | ≤ 10 | ≤ 20 | ABNT NBR NM 46 | |

¹Para os efeitos desta Norma, são exemplos de materiais não minerais: madeira, plástico, betume, materiais carbonizados, vidros e vidrados cerâmicas.

Fonte: ABNT NBR 15116:2004

Ou seja, as tabelas trazem os critérios que os agregados reciclados devem atender, no qual são os mesmos requisitos que o agregado convencional.

2.3 PROPRIEDADES ESTUDADAS

Nesse tópico será abordado alguns requisitos e características que devem ser atendidas pelo agregado reciclado para a produção de artefatos de concreto não estruturais, reforçando o que já foi apresentado na Tabela 2.4.

Sabendo-se que Collins (1996) ressalta que

“O uso prático de agregado reciclado na indústria da construção civil tem sido restringido basicamente pela carência de especificações, pelo maior risco envolvido no processo, pouca disponibilidade de material, em virtude de sua deposição em locais variados e pela necessidade de estudos específicos de viabilidade econômica”.

Sendo assim, nesse tópico será abordado os estudos que serão realizados com o agregado reciclado no qual servirá como base para a análise desses materiais ao decorrer do estudo.

2.3.1 Granulometria

Segundo Pacheco-Torgal *et al.* (2013), ao comparar a granulometria de agregados reciclados e agregados naturais, por causa da dureza e composição distinta, eles apresentarão composições diferentes. Isso leva a uma dificuldade o posicionamento na curva granulométrica de agregados naturais. De acordo com Ângulo (2005), essa dificuldade no posicionamento pode acarretar problemas na trabalhabilidade da mistura, na definição do traço dos concretos feitos com esse agregado e desperdício de material.

Ulsen *et al.* (2010) mostrou que, para a distribuição granulométrica do agregado reciclado se enquadrar à curva granulométrica, seria necessária uma segunda britagem do

material. Além disso, aproximadamente 50% da massa do RCC vira agregado miúdo e não graúdo involuntariamente, alegam os pesquisadores.

Mas a produção de agregados reciclados limpos e bem graduados não garante que a qualidade do processo de reciclagem do RCC. Isso só será garantido após verificado se o agregado atende física e quimicamente os requisitos solicitados, a depender do tipo de finalidade que esse material terá. Sendo assim, a argamassa ou o concreto produzido serão duráveis e possuirá uma garantia da estabilidade do que foi construído (Levy, 2001).

Além disso, para a análise, Côrrea (2019) separa a areia conforme a tabela abaixo:

Tabela 2.5 – Disposição da Areia segundo

| Areia | Descrição |
|---------------------|----------------------------------------------------------------|
| Fração Grossa | areia passante na peneira de malha 2,40 mm e retida na 1,18 mm |
| Fração Média Grossa | areia passante na peneira de malha 1,18 mm e retida na 0,60 mm |
| Fração Média Fina | areia passante na peneira de malha 0,60 mm e retida na 0,30 mm |
| Fração Fina | areia passante na peneira de malha 0,30 mm e retida na 0,15 mm |
| Fração Pulverulenta | resíduo pulverulento, retido no fundo das peneiras |

Fonte: Côrrea (2019)

2.3.2 Massa Específica e Massa Unitária

Segundo Mehta e Monteiro (2014), os agregados reciclados possuem uma menor densidade e maior porosidade, acarretando numa menor massa específica e massa unitária. Além disso, os formatos irregulares desses agregados podem não beneficiar um bom arranjo das partículas (empacotamento). Já Silva, De Brito e Dhir (2014) afirmam que o processo de produção e a origem do agregado reciclado também influenciam essas características. Isso se dá por causa da remoção da matéria mais porosa através do maior número de britagem do material que está sendo reciclado e por causa da densidade dele, que varia de acordo com sua origem.

Sendo assim, Alves (2016) realizou alguns estudos com agregados naturais, apresentando suas massas específicas e unitárias que serão utilizados como comparação, conforme pode ser visto logo abaixo:

Tabela 2.6 - Resultados dos ensaios de caracterização dos agregados miúdo e graúdo e as suas respectivas normas

| Ensaio | Areia Rosa | Areia Mix | Pó de Brita | Pedrisco | Norma |
|--------|------------|-----------|-------------|----------|-------|
|--------|------------|-----------|-------------|----------|-------|

| | | | | | |
|---------------------------------------|------|------|------|------|--------------------|
| Massa Unitária (Kg/dm ³) | 1.21 | 1.48 | 1.57 | 1.41 | AMN NBR NM 45:2006 |
| Massa Específica (g/cm ³) | 2.65 | 2.7 | 2.72 | 2.72 | ABNT NBR 9776:1988 |

(Alves, 2016)

2.3.3 Absorção de Água

A absorção de água em agregados reciclados normalmente apresenta valores maiores que agregados naturais, isso se dá por causa da maior porosidade apresentada por eles (Côrrea, 2019). O estudo com agregados reciclados graúdos de Gómez-Soberón (2003) mostra que eles apresentam um diâmetro médio de poros cerca de 40% maiores que agregados naturais. Outros estudos mostram que a absorção de água de agregados miúdos convencionais varia de 0% a 4%, já os agregados miúdos provenientes de RCC variam de 1% a 16% (KATZ, 2002; CORINALDESI, 2009; EVANGELISTA e DE BRITO, 2010; MARTÍNEZ *et al.*, 2013; HWANG *et al.*, 2013; EVANGELISTA *et al.*, 2015; BALDUSCO SILVA *et al.*, 2015; BEDOYA e DZUL, 2015; GIRARDI, MARTINS FILHO e CARASEK, 2017, CORRÊA, RÊGO e FEITOSA, 2018).

Segundo Corrêa (2019), a alta variação na porcentagem de absorção de água pode ser explicada com base na origem e processo de produção do agregado reciclado. Como a absorção de água pode acarretar problemas na produção de materiais cimentícios, A ABNT NBR 15116:2004 limita os valores de absorção de água conforme mostrado na Tabela 2.4.

3 METODOLOGIA

O estudo de caso será composto por três passos, sendo eles a escolha da empresa, a caracterização do agregado reciclado e os requisitos para os agregados serem utilizados na produção de alguns artefatos de concreto não estruturais.

A escolha da empresa tem por finalidade garantir a viabilidade da realização do projeto, atendendo aquilo que as normas e legislações exigem para realização da reciclagem do material, proveniente de resíduos da construção civil, e realizando o estudo de caso em um ambiente local.

A caracterização consistirá em caracterizar todo o material e verificar suas características e, a partir dela, realizar a verificação dos critérios, observando se o agregado reciclado está conforme as normas e legislações citadas e se não há substâncias que prejudiquem alguma propriedade do concreto que o torne inutilizável.

A partir dos resultados haverá uma conclusão inicial sobre o material analisado, mostrando se eles atendem aos requisitos mínimos mostrados nas normas para produção de concreto sem função estrutural.

3.1 ESCOLHA DA EMPRESA

Para escolha da empresa, serão seguidos os seguintes critérios:

- A empresa deverá atuar na Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno (Ride/DF e entorno);
- Fornecer acesso as instalações e disponibilizar informações e produtos para desenvolvimento da pesquisa;
- Deverá atuar no segmento de reciclagem de agregados provenientes de resíduos sólidos da construção civil (construção e demolição); e
- Deverá atender normas técnicas, regulamentação e legislações ambientais brasileiras e do Distrito Federal.

3.2 CARACTERIZAÇÃO

Nesse tópico será explicado desde como será realizada a coleta do material em campo até as etapas de caracterização dos agregados miúdo e graúdo em laboratório.

3.2.1 Amostragem

Sabendo que os agregados estão normalmente armazenados em montes, será seguido o item 5.5 da norma ABNT NBR NM 26:2009 de amostragem em pilhas. Ressalta-se que não é recomendado realizar esse tipo de amostragem, mas, normalmente, esse é estado que se encontra o agregado, facilitando a coleta da amostra. Sendo assim, será seguido a amostragem sem equipamento mecânico, no qual é realizada no mínimo em três pontos de coleta das amostras, sendo uma no topo, outra no meio e uma no fim da pilha.

Seguindo a norma, as amostras foram armazenadas em sacos e o volume extraído de cada agregado foi definido conforme suas características (miúdo e graúdo). O número de amostras obtidas foi o suficiente para abranger todas as possíveis variações e assegurar representatividade da amostra. Além disso, as amostras foram identificadas com uma etiqueta contendo os seguintes dados:

- Designação do material;
- Número de identificação de origem;
- Tipo de procedência;
- Massa da amostra;
- Quantidade do material que representa;
- Obra e especificações a serem cumpridas;
- Parte da obra em que será empregado;
- Local e data da amostragem;
- Responsável pela coleta.

3.2.1.1 Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório

Para a redução da amostra de campo para ensaios de laboratório, será usado a NBR NM 27/2001 para definir-se os procedimentos que deverão ser realizados para os ensaios em laboratório. Será realizado o método “A” (separador mecânico) ou “B” (quarteamento) para redução da amostra conforme a norma. O método utilizado foi o “B”.

3.2.2 Composição granulométrica

Para realizar esse ensaio, necessita-se primeiro separar a quantidade amostral utilizando a norma ABNT NBR 6457:2016, sendo que a quantidade está determinada na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Quantidade de amostra para análise granulométrica

| Dimensões dos órgãos maiores contidos na amostra, determinadas por observação visual | Quantidade mínima a tomar |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| mm | Kg |
| < 5 | 1 |
| 5 a 25 | 4 |
| > 25 | 8 |

NOTA 1 O material assim obtido constitui a amostra a ser ensaiada.

NOTA 2 O valor da massa específica dos grãos, a ser utilizado no cálculo de análise granulométrica por sedimentação, é determinado a partir de cerca de 500g de material passado na peneira de 2,0 mm

Fonte: ABNT NBR 6457:2016

Depois de definir a quantidade que será ensaiada as operações iniciais recomendada no item 4.2 da ABNT NBR 7181:2016 e, depois dela, realiza-se os ensaios de granulometria de peneiramento fino e grosso e efetua-se os cálculos necessários.

3.2.2.1 Peneiramento Fino

Pegando o material retido na de 0,075 mm e colocando-o em estufa de 105 a 110 °C, com o auxílio de um agitador mecânico, pegar esse material seco e passar pelas peneiras de 1,2 mm, 0,6 mm, 0,42 mm, 0,25 mm, 0,15 mm e 0,075 mm, anotado todas as massas retidas acumuladas, conforme orienta a ABNT NBR 7181:2016.

3.2.2.2 Peneiramento Grosso

Pega-se o material retido na peneira de 2,0 mm e mede-se sua massa. Com o auxílio do agitador mecânico, passar o material nas peneiras de 50 mm, 38 mm, 25mm, 19 mm, 9,5 mm e 4,8 mm, anotado todas as massas retidas acumuladas, conforme orienta a norma ABNT NBR 7181:2016.

3.2.2.3 Determinação da Composição Granulométrica

Os cálculos que serão apresentados, conforme a ABNT NBR 7181:2016, serão massa total da amostra, porcentagens de materiais que passam nas peneiras de 50 mm, 38 mm, 25 mm, 19 mm, 9,5 mm, 4,8 mm e 2,0 mm e porcentagem de materiais que passam nas peneiras de 1,2 mm, 0,6 mm, 0,42 mm, 0,25 mm, 0,15 mm e 0,075 mm.

- **Massa total da amostra**

A massa total da amostra pode ser dada pela fórmula abaixo, segundo a ABNT NBR 7181:2016:

$$M_s = \frac{(M_T - M_g)}{(100 + W)} \cdot 100 + M_g \quad (1)$$

Onde:

- M_s é a massa total da amostra seca;
- M_T é a massa da amostra seca em temperatura ambiente;
- M_g é a massa do material seco retido da peneira de 2,0 mm;
- W é a unidade higroscópica do material passado na peneira de 2,0 mm.

- **Porcentagens de materiais que passam nas peneiras de 50 mm, 38 mm, 25 mm, 19 mm, 9,5 mm, 4,8 mm e 2,0 mm**

A fórmula para calcular as porcentagens é dada, segundo a ABNT NBR 7181:2016, pela equação abaixo:

$$Q_g = \frac{(M_s - M_r)}{M_s} \cdot 100 \quad (2)$$

Onde:

- Q_g é a porcentagem de material passado em cada peneira;
- M_s é a massa total da amostra seca;
- M_r é a massa do material retido acumulado em cada peneira.

- **Porcentagem de materiais que passam nas peneiras de 1,2 mm, 0,6 mm, 0,42 mm, 0,25 mm, 0,15 mm e 0,075 mm**

Para calcular a porcentagem de matérias, segundo a ABNT NBR 7181:2016, utiliza-se a equação abaixo:

$$Q_f = \frac{M_w \cdot 100 - M_r(100 + W)}{M_w \cdot 100} \cdot N \quad (3)$$

Onde:

- M_w é a massa do material úmido submetido ao peneiramento fino ou à sedimentação, conforme o ensaio tenha sido realizado apenas por peneiramento ou por combinação de sedimentação e peneiramento, respectivamente;
- W é a umidade higroscópica do material passado na peneira de 2,0 mm;
- M_r é a massa do material retido acumulado em cada peneira;
- N é a porcentagem de material que passa na peneira 2,0 mm.

3.2.3 Teor de material passante na peneira de 0,42 mm

Determina-se o teor de material passante na peneira de 0,42 mm através do ensaio de granulometria pelo o cálculo de porcentagem de materiais que passam nas peneiras de 1,2 mm, 0,6 mm, 0,42 mm, 0,25 mm, 0,15 mm e 0,075 mm.

3.2.4 Teor de material passante na malha 75 μm (%)

Segundo a norma ABNT NBR NM 46:2003, primeiramente lavar, do modo prescrito, uma amostra de agregado, usando apenas água ou empregando também um agente umectante dissolvido na água, conforme especificado. A água de lavagem decantada, contendo material suspenso e dissolvido, deve ser passada através de uma peneira de 0,075 mm. A perda em massa resultante do tratamento com água é calculada em porcentagem da massa da amostra original e registrada como a porcentagem de material mais fino que a peneira de 0,075 mm por lavagem.

3.2.5 Caracterizações específicas do agregado graúdo

Segundo a norma ABNT NBR NM 53/2009, temos que agregado graúdo é o agregado cuja maior parte de suas partículas fica retida na peneira com abertura de malha de 4,75 mm, ou a porção retida nessa mesma peneira. As caracterizações específicas do agregado graúdo são índice de forma, ensaios de contaminantes, teor de fragmentos à base de cimento e rochas e absorção de água, que serão descritos logo abaixo.

3.2.5.1 Massa Específica

Para determinar a massa específica será utilizado a ABNT NBR NM 53:2009: Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. O agregado deve ser primeiramente submerso em água por 24 horas. Posteriormente, deve-se retirar a água do agregado e secá-lo com um pano até que não haja mais umidade superficial. Pesa-se o agregado submerso em água e posteriormente em condição saturada superfície seca (SSS) e obtém-se os parâmetros para calcular a massa específica com as seguintes fórmulas:

$$d = \frac{m}{m - m_a} \quad (4)$$

Onde,

- d é a massa específica do agregado seco em g/cm^3 ;
- m é a massa ao ar da amostra seca em g;
- m_a é a massa em água da amostra em gramas.

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

Onde,

- d_s é a massa específica do agregado na condição saturada superfície seca em g/cm^3 ;
- m_s é a massa ao ar da amostra na condição saturada superfície seca em g;

$$d_a = \frac{m}{m_s - m_a} \quad (6)$$

Onde,

- d_a é a massa específica aparente do agregado seco em g/cm^3 ;

- m_a é a massa em água da amostra na condição saturada superfície seca em g;

3.2.5.2 Absorção de água

Após retirada a amostragem conforme a ABNT NBR NM 53:2009, primeiramente pesa-se essa amostra após sua secagem em estufa. Logo após, deve-se submergir a amostra em água por um período de 24 horas. Depois a amostra deve ser retirada da água e envolvida em pano absorvente até que toda a água visível seja eliminada, agora ela estará na condição saturada superfície seca (SSS). Rapidamente deve-se pesar a amostra e calcular a absorção de água pela equação:

$$A = \frac{m_s - m}{m} \cdot 100 \quad (7)$$

Onde,

- A é a absorção de água, em porcentagem;
- m_s é a massa ao ar da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas;
- m é a massa ao ar da amostra seca, em gramas.

3.2.6 Caracterizações específicas do agregado miúdo

Segundo a norma ABNT NBR NM 53:2000, temos que agregado miúdo é o agregado que passa na peneira com abertura de malha de 9,5 mm, que passa quase totalmente na peneira 4,75 mm e fica retido, em sua maior parte, na peneira 75 μ m; ou se define como a porção que passa na peneira de 4,75 mm e fica retida quase totalmente na peneira de 75 μ m. As caracterizações específicas do agregado graúdo são ensaios de contaminantes e absorção de água, que serão descritos logo abaixo.

3.2.6.1 Massa específica

A massa específica do agregado miúdo deve ser calculada com base na ABNT NBR NM 52:2002: Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente. Por causa da facilidade em realização do experimento, optou-se por realizar o experimento utilizando a ABNT NBR 9776:1987: Agregados – Determinação da

massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman. O cálculo que deve ser realizado após obter os dados do experimento é o seguinte:

$$\gamma = \frac{500}{L - 200} \quad (8)$$

Onde,

- γ é a massa específica do agregado miúdo em g/cm³;
- L é a leitura do frasco (volume ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo).

3.2.6.2 Absorção de água

Seguindo a norma ABNT NBR NM 30:2001, obtêm-se uma amostra de 1 kg, seca-se em estufa e depois deve-se cobrir com água e deixar descansar por 24 h. Depois a amostra deve ser submetida a uma corrente de ar quente até que os grãos do agregado miúdo não fiquem aderidos entre si de forma marcante. Logo após, coloca-se o agregado miúdo em um molde, sem comprimi-lo, e aplica-se suavemente 25 golpes com uma haste de compactação e levanta-se verticalmente o molde. Se houver umidade superficial, o agregado ficará na forma do molde. O processo deve ser repetido até que o cone de agregado miúdo desmorone ao ser retirado do molde. Nesse momento ele estará saturado de superfície seca (SSS). Determina-se a massa e calcula-se a absorção pela fórmula:

$$A = \frac{m_s - m}{m} \cdot 100 \quad (9)$$

Onde,

- A é a absorção de água, em porcentagem;
- m_s é a massa ao ar da amostra na condição saturado e de superfície seca, em gramas;
- m é a massa da amostra seca em estufa, em gramas.

3.3 CRITÉRIOS SUGERIDOS PARA AVALIAÇÃO DOS AGREGADOS RECICLADOS DESTINADOS À PRODUÇÃO DE ARTEFATOS DE CONCRETO NÃO ESTRUTURAIIS

Como avaliação do potencial tecnológico dos agregados reciclados para uso em artefatos de concreto optou-se por realizar adequação das faixas granulométricas, massa específica e absorção de água, além de obter o teor de material passante na peneira de

75 μm . Como critérios de adequação os agregados reciclados deverão atender aos parâmetros apresentados na Tabela 2.4.

4 RESULTADOS

Os resultados apresentados nesse capítulo foram realizados com base na metodologia descrita anteriormente.

4.1 ESCOLHA DA EMPRESA

Com os critérios já citados no Item 3.1, a empresa escolhida para o estudo de caso foi a usina de reciclagem que atua na área rural de São Sebastião no Distrito Federal, ela produz agregado reciclado a partir de RCC e atende as normas e legislações ambientais brasileiras e do DF, sendo identificada no período da pesquisa como a única do DF que possui atividade licenciada e certificada pelo Instituto Brasília Ambiental (IBRAM) - Certificado de Destinação Correta de Resíduos. Nesse tópico será descrito o processo de produção dos agregados da usina de reciclagem.

O primeiro processo realizado é a separação dos materiais que serão utilizados na reciclagem para fabricação do agregado do material que não será utilizado, como mostrado na Figura 4.1, abaixo:



Figura 4.1 - Vista do local de separação na usina de reciclagem e dos materiais triados para reciclagem.

Durante as visitas a usina, percebeu-se que os resíduos de construção que chegam muitas vezes misturados com outros tipos de resíduos volumosos, o que dificulta o processo de separação, se transformando em contaminantes que podem interferir negativamente nas características do agregado reciclado produzido.

Logo após a separação, o material triado é colocado para secar ao ar em ambiente aberto, para então ser levado para os britadores. O material estando úmido emperram nos britadores, dificultando a passagem e causando interrupções no processo. Após a secagem, o material é levado para o britador para iniciar o processo de reciclagem, como mostrado na Figura 4.2.



Figura 4.2 - Entrada do resíduo triado, após secagem, na Usina de Reciclagem.

Na figura seguinte é apresentada uma vista geral da usina. No funil de entrada do material, há um separador (peneira) para a retirada de materiais finos como silte e argila.



Figura 4.3 - Vista geral da Usina de Reciclagem

O material que entra na usina será britado duas vezes para então ser separado em uma serie de peneiras, que separam o material britado em quatro faixas de granulometria diferentes: pedrisco, brita, areia e rachão, como pode ser visto nas figuras seguintes:



Figura 4.4 - Pilha de Areia Reciclada



Figura 4.5 - Pilha de Pedrisco Reciclado



Figura 4.6 – Pilha de Brita 1 Reciclada



Figura 4.7 – Pilha de Rachão Reciclado

Pode-se notar, conforme a Tabela 2.1 apresentada no trabalho, a areia e o pedrisco reciclado, caso passe nos critérios de caracterização, poderá ser utilizada para a produção dos artefatos de concreto sem fins estruturais indicados. A brita reciclada deverá ser verificada se poderá ser utilizada na produção dos artefatos, mas o rachão não será caracterizado por não ser usado na produção de artefatos de concreto.

O material foi classificado em classe A de agregado de resíduo misto (ARM) e os materiais apresentados possuem as seguintes granulometrias:

Tabela 4.1 – Granulometria do material estudado

| | |
|----------|------------------------------------------------------------------|
| Rachão | Material retido na peneira 20,63 mm |
| Brita | Material passante na peneira 20,63 e retido na peneira 14,28 mm |
| Pedrisco | Material passante na peneira 14,28 mm e retido na peneira 4,8 mm |
| Areia | Material passante na peneira 4,8 mm |

4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS RECICLADOS

A caracterização foi realizada segundo ensaios descritos no Capítulo 3. Durante a execução dos ensaios ocorreram alguns ajustes na metodologia conforme será citado em cada etapa. Foram realizadas 5 repetições para cada material e os dados coletados estão no Anexo A e aqui será apresentado os cálculos realizados a partir deles.

Os ensaios realizados foram o de Composição Granulométrica, Massa Específica e Absorção de água e Material Passante na Peneira de 75 µm citados no Item 3.2.2. Os outros da Tabela 2.2 e 2.4 não foram realizados por causa de limitações de tempo e no laboratório.

Ressalta-se que as duas primeiras amostras foram retiradas e analisadas em maio de 2019 e as outras amostras foram retiradas e analisadas em setembro e outubro de 2019, ou seja, são materiais retirados em estações e épocas do ano diferentes.

4.2.1 Agregado Miúdo

Para realização do ensaio de granulometria, o ensaio solicitava as peneiras 4,8 mm e 2,0 mm, 1,2 mm, 0,6 mm, 0,42 mm, 0,25 mm, 0,15 mm e 0,075 mm conforme mostrado no item 3.2.2.3. O laboratório não possuía a peneira de 0,42 mm, sendo assim, optou-se por utilizar a peneira de 0,35 mm para auxiliar no ensaio, obtendo os dados da Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Dados Obtidos para o Agregado Miúdo

| Amostra | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 |
|--------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Peneira (mm) | Massa retida (g) | Massa retida (g) | Massa retida (g) | Massa retida (g) | Massa retida (g) |
| 4,78 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2,00 | 231,49 | 234,71 | 140,30 | 134,33 | 316,04 |
| 1,19 | 169,72 | 128,56 | 145,80 | 98,31 | 140,10 |
| 0,59 | 126,13 | 102,17 | 165,30 | 142,71 | 137,17 |
| 0,35 | 170,53 | 133,94 | 171,80 | 142,89 | 94,55 |
| 0,25 | 97,94 | 96,96 | 136,80 | 130,34 | 72,09 |
| 0,15 | 98,34 | 125,10 | 122,00 | 135,29 | 89,29 |
| 0,075 | 45,75 | 70,08 | 51,00 | 121,45 | 36,10 |
| Fundo | 58,49 | 106,15 | 64,65 | 93,46 | 113,06 |
| Total | 998,39 | 997,67 | 997,65 | 998,78 | 998,40 |

A partir desses dados, foi possível calcular a porcentagem acumulada de cada

peneira e, a partir disso, realizar o gráfico da granulometria, conforme pode ser visto na Tabela 4.3:

Tabela 4.3 – Porcentagem Acumulada do Agregado Miúdo

| Amostra | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Peneira (mm) | % passada acumulada | % passada acumulada | % passada acumulada | % passada acumulada | % passada acumulada |
| 4,78 | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| 2,00 | 76,81% | 76,47% | 85,94% | 86,55% | 68,35% |
| 1,19 | 59,81% | 63,59% | 71,32% | 76,71% | 54,31% |
| 0,59 | 47,18% | 53,35% | 54,75% | 62,42% | 40,57% |
| 0,35 | 30,10% | 39,92% | 37,53% | 48,11% | 31,10% |
| 0,25 | 20,29% | 30,20% | 23,82% | 35,06% | 23,88% |
| 0,15 | 10,44% | 17,66% | 11,59% | 21,52% | 14,94% |
| 0,075 | 5,86% | 10,64% | 6,48% | 9,36% | 11,32% |
| Fundo | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |

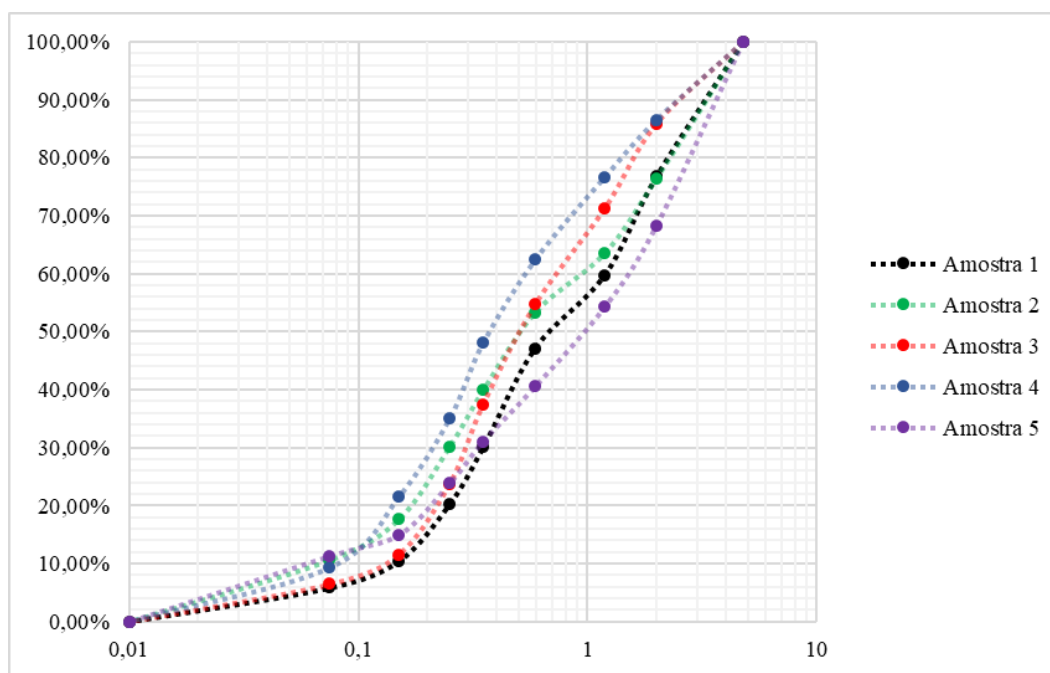


Figura 4.8 – Curva Granulométrica do Agregado Miúdo

Além disso, foi possível calcular a massa específica e a absorção de água a partir dos dados coletados e apresentados no Anexo A. A massa específica foi determinada conforme procedimento preconizado pela ABNT NBR 9776:1987, com o uso do frasco de Chapman, devido a facilidade de execução do ensaio e proximidade dos resultados obtidos com o procedimento da ABNT NBR NM 52:2002. Os resultados obtidos podem ser visto na Tabela 4.4:

Tabela 4.4 – Massa Específica e Absorção de Água do Agregado Miúdo.

| Amostra | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Massa Específica real do agregado seco (g/cm ³) | 2,4420 | 2,4969 | 2,4969 | 2,5000 | 2,5063 |
| Absorção de água | 9,56% | 12,13% | 4,49% | 6,05% | 14,23% |

Foi possível também dividir as areias conforme a Tabela 2.5. Realizou-se uma interpolação dos dados, pois as peneiras utilizadas na granulometria não foram as mesmas utilizadas para a divisão das frações das areias. Pode-se ver o resultado na Tabela 4.5:

Tabela 4.5 – Frações do Agregado Miúdo

| Areia | Descrição | Amostra 1 | Amostra 2 | Amostra 3 | Amostra 4 | Amostra 5 |
|---------------------|----------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Fração Grossa | Areia passante na peneira de malha 2,40 mm e retida na 1,18 mm | 25,37% | 20,37% | 18,92% | 13,31% | 25,50% |
| Fração Média Grossa | Areia passante na peneira de malha 1,18 mm e retida na 0,60 mm | 15,76% | 12,82% | 18,84% | 16,15% | 18,85% |
| Fração Média Fina | Areia passante na peneira de malha 0,60 mm e retida na 0,30 mm | 27,43% | 22,90% | 27,37% | 23,54% | 17,94% |
| Fração Fina | Areia passante na peneira de malha 0,30 mm e retida na 0,15 mm | 18,41% | 21,79% | 21,70% | 22,68% | 17,22% |
| Fração Pulverulenta | Resíduo pulverulento, retido no fundo das peneiras | 13,03% | 22,12% | 13,18% | 24,32% | 20,49% |
| | Total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

4.2.2 Agregado Graúdo

Todos os ensaios realizados para o Pedrisco e para Brita recicladas foram os mesmos apresentados na Tabela 2.2 e 2.4.

4.2.2.1 Pedrisco

Primeiramente foi realizado a granulometria do pedrisco, obtendo os resultados mostrados na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Dados obtidos para o Pedrisco

| Amostra | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Peneira (mm) | Massa retida (g) | Massa retida (g) | Massa retida (g) | Massa retida (g) | Massa retida (g) |
| 9,5 | 0,83 | 1,16 | 0,86 | 0,53 | 0,64 |
| 6,3 | 2,19 | 2,23 | 2,32 | 2,33 | 2,03 |
| 4,75 | 0,53 | 0,34 | 0,52 | 0,64 | 0,73 |
| Fundo | 0,35 | 0,28 | 0,3 | 0,5 | 0,59 |
| Total | 3,9 | 4,01 | 4 | 4 | 3,99 |

A partir desses dados foi possível calcular a porcentagem acumulada em cada peneira e fazer o gráfico de granulometria do agregado, como mostrado abaixo e na Figura 4.9:

Tabela 4.7 – Porcentagem Acumulada do Pedrisco

| Amostra | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Peneira (mm) | % passada acumulada | % passada acumulada | % passada acumulada | % passada acumulada | % passada acumulada |
| 19 | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| 9,5 | 78,72% | 71,07% | 78,50% | 86,75% | 83,96% |
| 6,3 | 22,56% | 15,46% | 20,50% | 28,50% | 33,08% |
| 4,75 | 8,97% | 6,98% | 7,50% | 12,50% | 14,79% |
| Fundo | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |

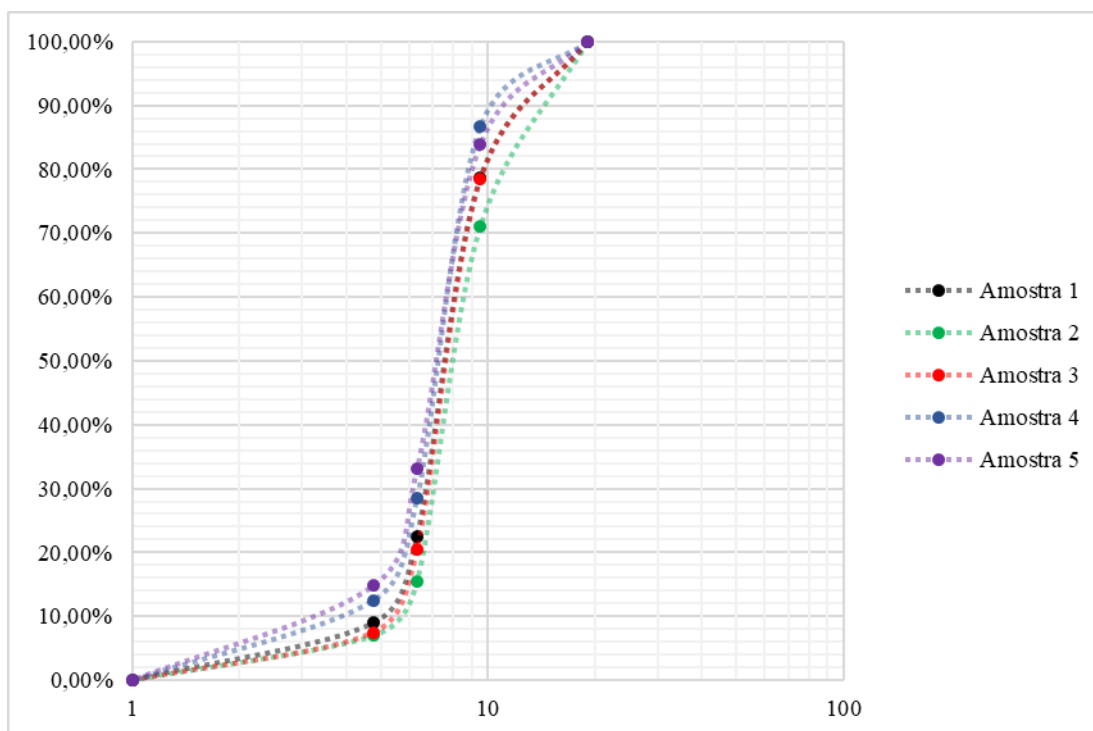


Figura 4.9 – Curva Granulométrica do Pedrisco

Por último tem-se os dados de massa específica de cada amostra e absorção de água como pode ser visto na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 – Massa Específica e Absorção do Pedrisco

| Amostra | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Massa específica do agregado seco (g/cm ³) | 2,6899 | 2,5403 | 2,6108 | 2,5702 | 2,4968 |
| Massa específica do agregado na condição SSS (g/cm ³) | 2,2639 | 2,2048 | 2,2467 | 2,2115 | 2,1769 |
| Massa específica aparente do agregado seco (g/cm ³) | 2,0117 | 1,9870 | 2,0207 | 1,9831 | 1,9631 |
| Absorção de água | 12,53% | 10,96% | 11,19% | 11,52% | 10,89% |

4.2.2.2 Brita

Assim como o Pedrisco, iniciou-se a caracterização da Brita pela sua granulometria, obtendo-se os dados da Tabela 4.9.

Tabela 4.9 – Dados Obtidos para a Brita

| Amostra | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Peneira (mm) | Massa retida (g) | Massa retida (g) | Massa retida (g) | Massa retida (g) | Massa retida (g) |
| 19,0 | 0,46 | 0,35 | 0,11 | 0,18 | 0,05 |
| 9,5 | 3,46 | 3,59 | 3,83 | 3,76 | 3,77 |
| 6,3 | 0 | 0,01 | 0,04 | 0,01 | 0,13 |
| 4,75 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 |
| Fundo | 0,07 | 0,05 | 0,03 | 0,05 | 0,05 |
| Total | 4 | 4,01 | 4,02 | 4,01 | 4,02 |

A partir dos dados coletados foi possível calcular a porcentagem acumulada em cada peneira e realizar o gráfico de granulometria, como mostrado abaixo:

Tabela 4.10 – Porcentagem Acumulada da Brita

| Amostra | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Peneira (mm) | % passada acumulada | % passada acumulada | % passada acumulada | % passada acumulada | % passada acumulada |
| 19,0 | 88,50% | 91,27% | 97,26% | 95,51% | 98,76% |
| 9,5 | 2,00% | 1,75% | 1,99% | 1,75% | 4,98% |
| 6,3 | 2,00% | 1,50% | 1,00% | 1,50% | 1,74% |
| 4,75 | 1,75% | 1,25% | 0,75% | 1,25% | 1,24% |
| Fundo | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |

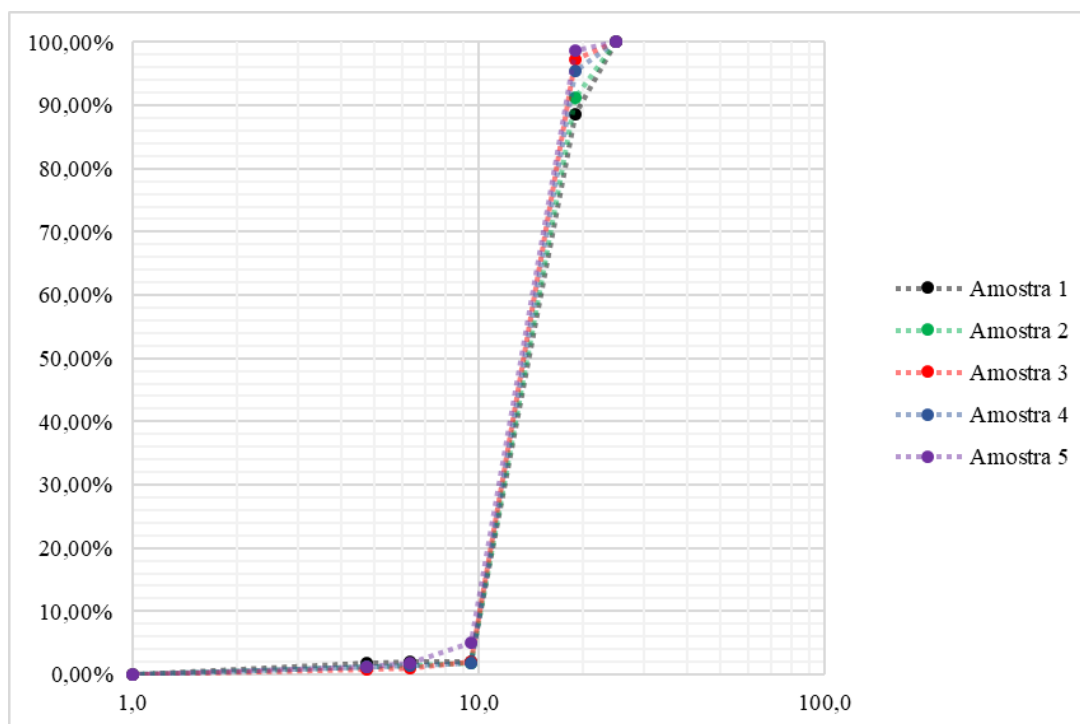


Figura 4.10 – Curva Granulométrica da Brita

Os dados calculados para massa específica e absorção de água podem ser vistos logo abaixo:

Tabela 4.11 – Massa Específica e Absorção de Água da Brita

| Amostra | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Massa específica do agregado seco (g/cm ³) | 2,512 | 2,497 | 2,518 | 2,519 | 2,498 |
| Massa específica do agregado na condição SSS (g/cm ³) | 2,241 | 2,243 | 2,263 | 2,264 | 2,220 |
| Massa específica aparente do agregado seco (g/cm ³) | 2,062 | 2,073 | 2,094 | 2,096 | 2,034 |
| Absorção de água | 8,68% | 8,20% | 8,02% | 8,00% | 9,14% |

4.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A partir dos cálculos realizados no item 4.2, foi possível realizar algumas análises e comparações com o que foi citado na metodologia, como será mostrado nos próximos tópicos.

4.3.1 Agregado Miúdo

A partir do Figura 4.8 foi possível verificar se os dados estavam dentro da zona utilizável e ótima conforme ABNT NBR 7211:2009, conforme mostrado na Figura 4.11.

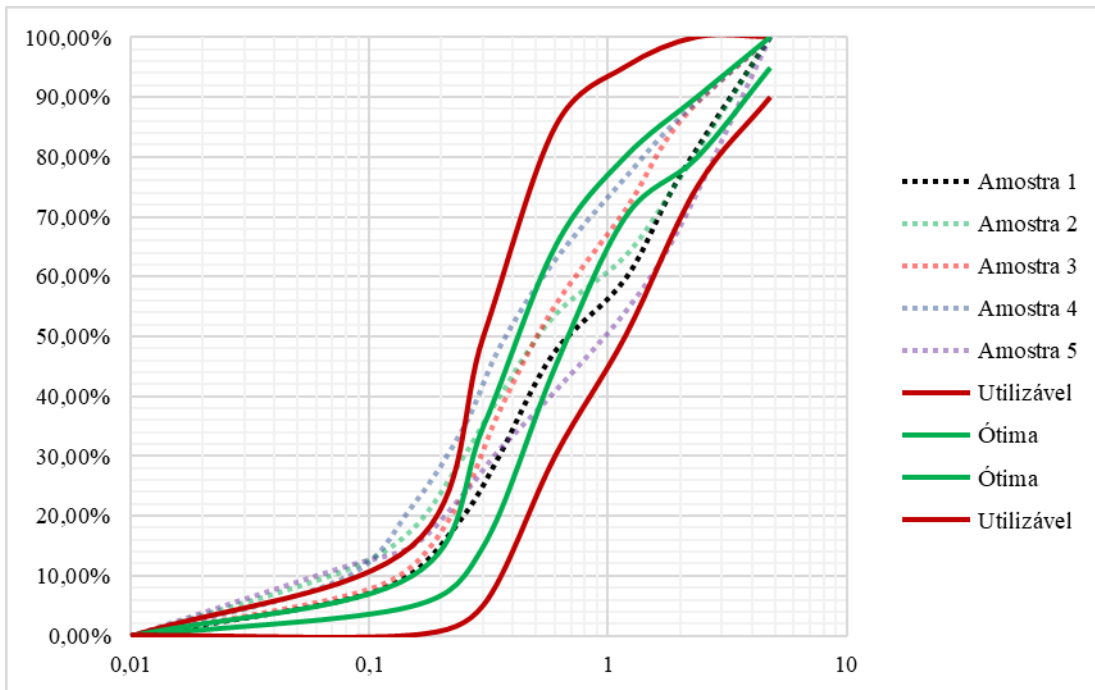


Figura 4.11– Gráfico das Zonas para o Agregado Miúdo

Ao analisar as amostras separadamente, pode-se notar que ao chegar ao final da curva, algumas amostras saem do limite utilizável recomendado por norma, mas ao realizar uma média das quatro amostras, tem-se o seguinte resultado:

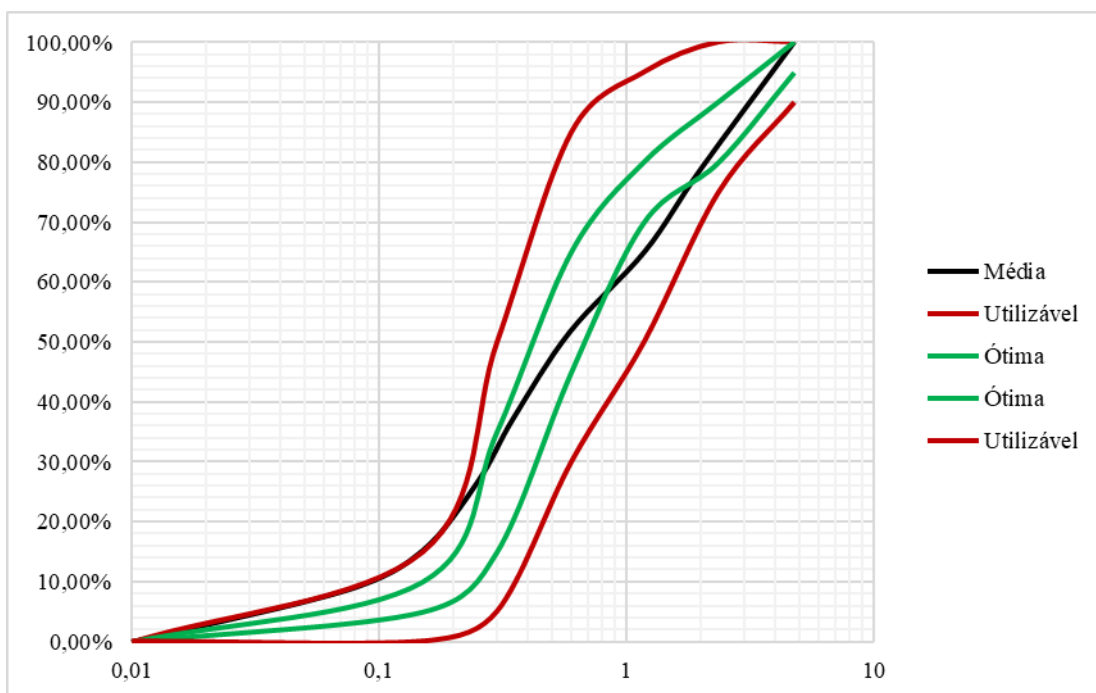


Figura 4.12 – Média das Amostra x Zona Utilizável

Com o segundo gráfico pode-se notar que a média está no limite da zona utilizável, mas boa parte da curva está na zona ótima. Ou seja, pode-se notar que ao final da curva há uma grande presença de material de granulometria mais fina, fazendo a curva passar pelo limite superior da zona utilizável.

A massa específica realizada pelo frasco de Chapman se manteve constante, como pode ser notado na Figura 4.13:

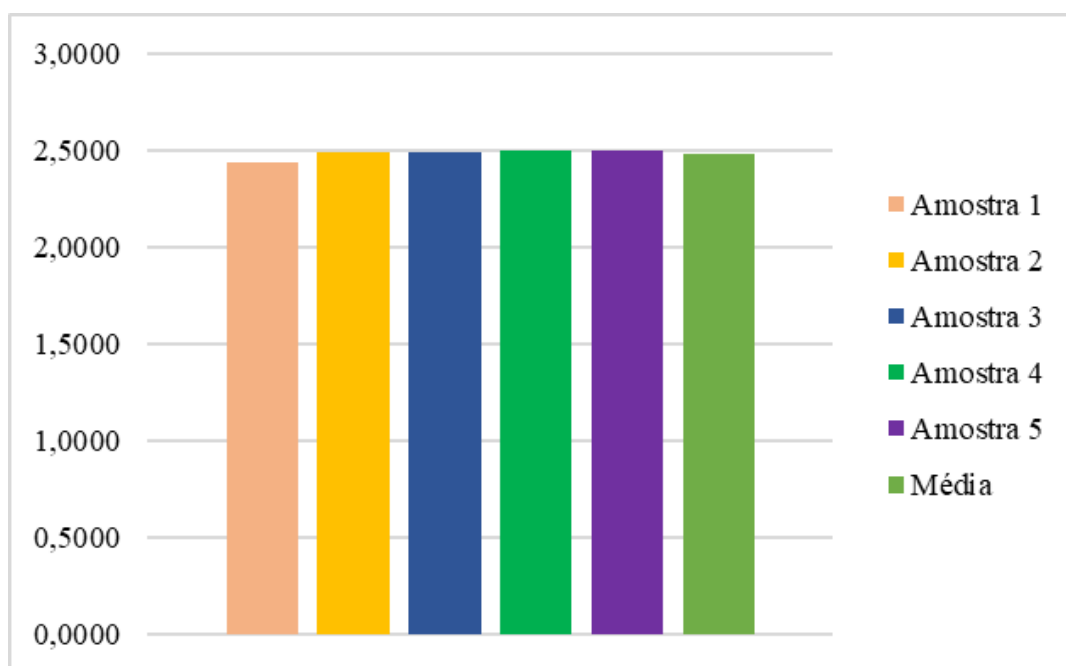


Figura 4.13 – Massa Específica do Agregado Miúdo

A maior diferença na massa específica foi para a primeira amostra que resultou em $2,44 \text{ g/cm}^3$, talvez tenha sido um erro de manuseio do equipamento pois foi a primeira vez que ele foi realizado, mas a média encontrada foi de $2,49 \text{ g/cm}^3$. Comparando com a Tabela 2.6, pode-se notar que a massa específica encontrada está próxima do agregado natural que é de $2,65 \text{ g/cm}^3$, sendo ela um pouco menor, como já esperado por causa da sua porosidade. Já para a absorção de água houve uma variação de 10% entre a maior e menor porcentagem entre as amostras, como pode na Figura 4.14:

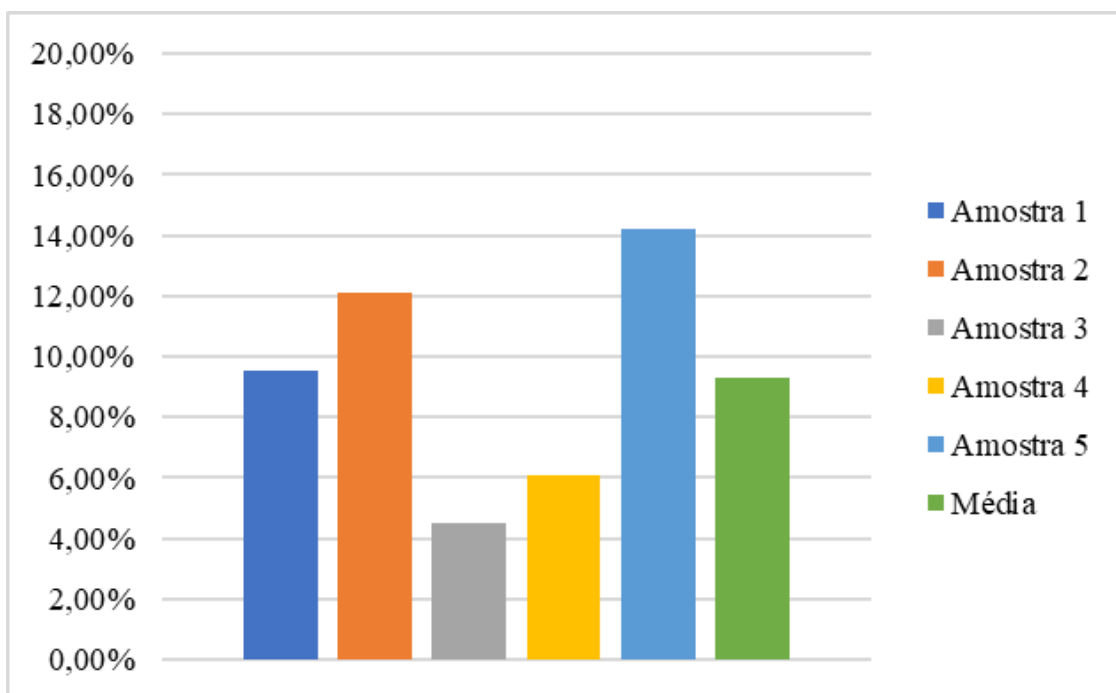


Figura 4.14 – Absorção de Água do Agregado Miúdo

Há duas hipóteses para essa grande de 10% entre a maior e menor porcentagem de absorção, a primeira é a grande mutabilidade do material, pois como ele é reciclado, ele varia de acordo com o material que é utilizado, ou seja, ele apresentará propriedades diferentes. Mas o ensaio de massa específica mostrou que há uma certa homogeneidade no material, sendo assim, temos a segunda hipótese que pode ter sido um erro experimental. Isso pode ser causa do ensaio em si, pois ele é um pouco duvidoso ao se tratar de seu procedimento, no qual é muito difícil saber de verdade se ele está na condição Saturado Superfície Seca (SSS) apenas com esse procedimento, pois cada um que fizer provavelmente fará diferente. Ou pode ter sido por causa de quem manuseou o material e realizou o ensaio em si, podendo não ter seguido o procedimento como esperado pela norma.

Mas, segundo a Tabela 2.4, a absorção de água do agregado miúdo para ARM não ultrapassou o limite de 17%, sendo assim o material está dentro dos requisitos especificados em norma.

Ao analisar a divisão das frações da areia, tem-se o resultado da Figura 4.15.

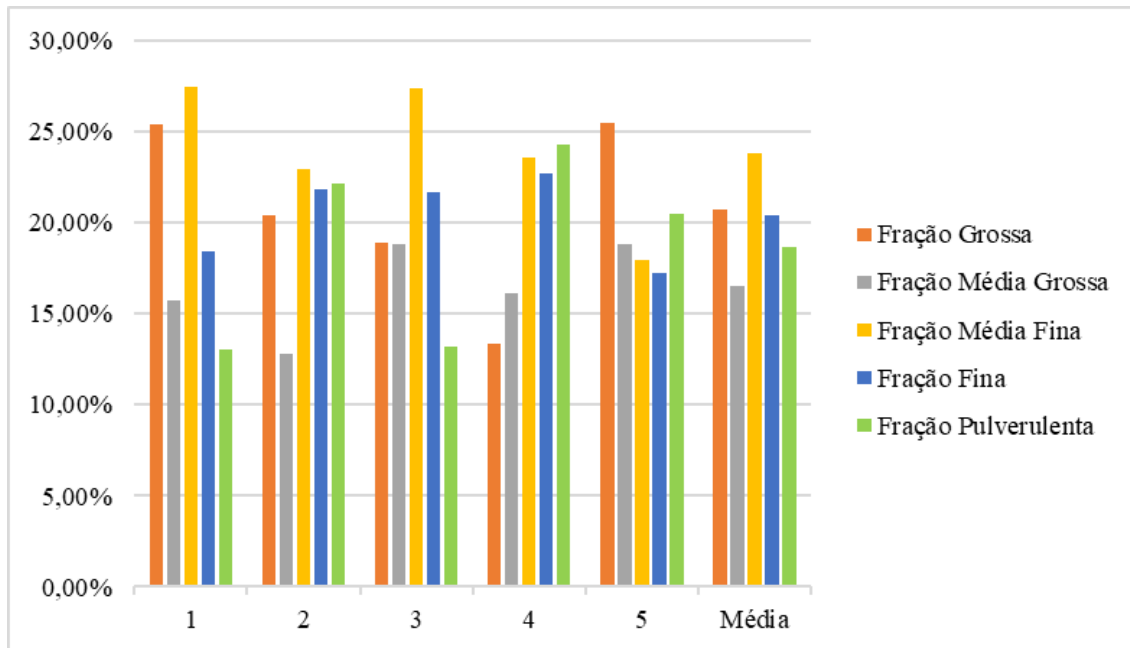


Figura 4.15 – Frações do Agregado Miúdo

Pode-se notar na média que a fração que apresentou menor porcentagem foi a Média grossa e a de maior porcentagem foi a Média Fina, mas que a diferença entre as duas chegou a 8%, indo de 16,48% a 23,84%, do menor para o maior respectivamente. É notável que a mistura é homogênea na divisão de suas frações, no qual pode ter tido influência na britagem do material e no método de triagem.

O teor de material passante na peneira de 75 μm pode ser visto na Figura 4.16.

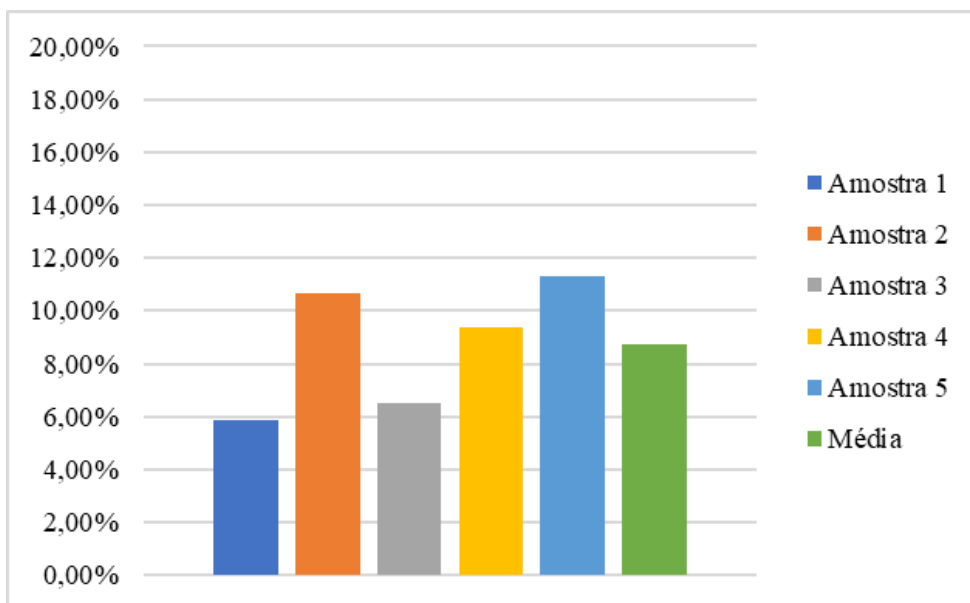


Figura 4.16 - Material Passante na Peneira de 75 μm (Agregado Miúdo)

A Tabela 2.4 estipula que o valor limite de material passante seja de 20%, ou seja, nenhum material atingiu esse limite, estando dentro dos requisitos da norma, apresentando uma variação máxima de 5% entre o maior e o menor teor.

4.3.2 Agregado Graúdo

A seguir serão apresentados os resultados dos agregados graúdos, sendo eles o pedrisco e a brita.

4.3.2.1 Pedrisco

Ao fazer a mesma análise da granulometria que foi feito para o agregado miúdo, temos o seguinte resultado:

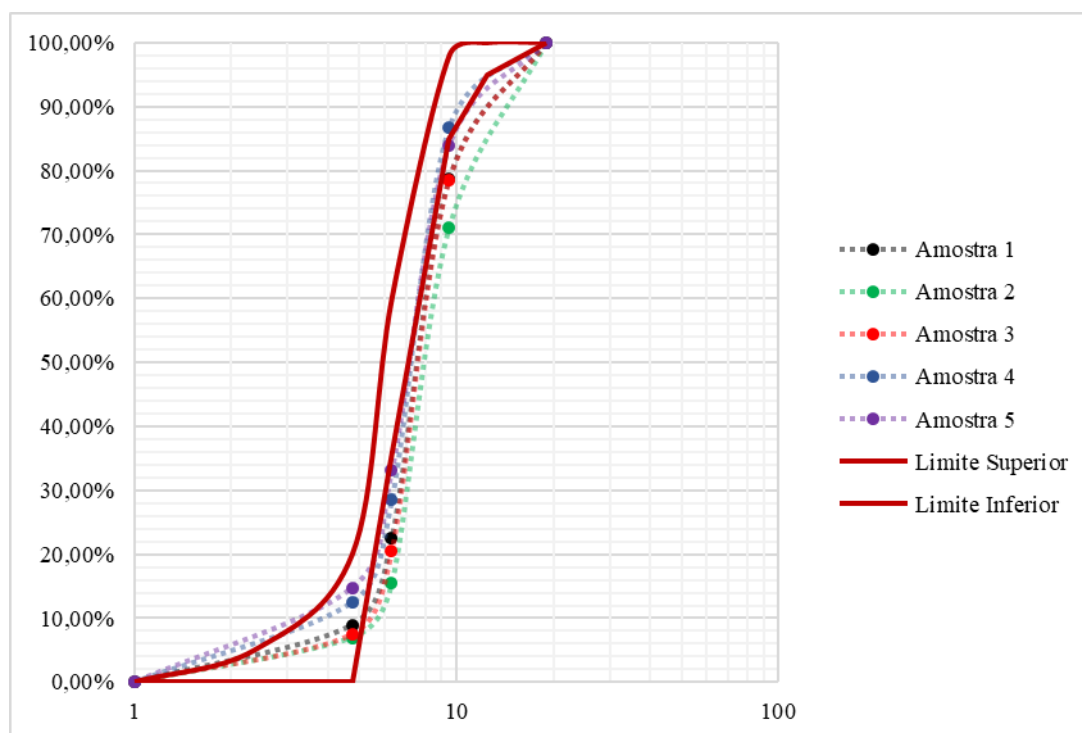


Figura 4.17 - Gráfico das Zonas para o Pedrisco

Pode-se notar que a maioria das amostras estão fora do limite recomendado por norma, sendo assim, o gráfico que análise a média apresentou o mesmo comportamento, como pode ser visto na Figura 4.18.

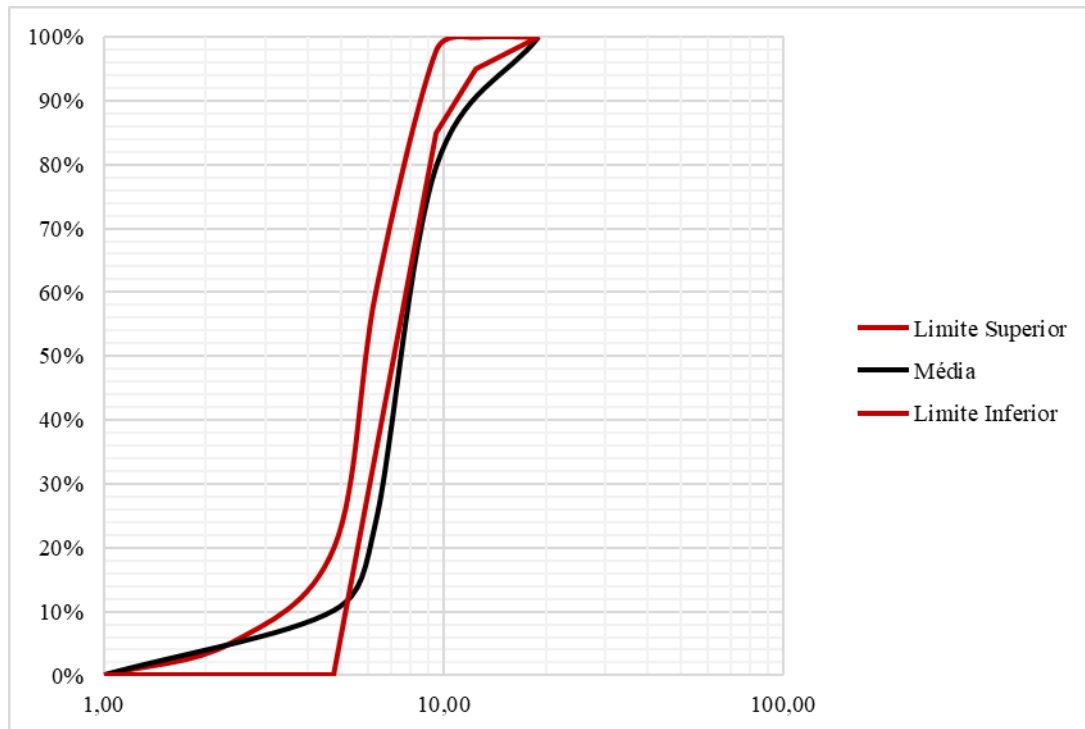


Figura 4.18 - Média das Amostra x Zona Utilizável

Isso mostra que o agregado precisa de correções na granulometria para se tornar utilizável na produção artefatos de concreto. Como a linha da média está abaixo do limite inferior, pode-se dizer que o agregado possui granulometrias menores que o recomendado.

Já a massa específica e a absorção de água se mostraram constantes e não houve grandes variações, como pode ser visto nos gráficos da Figura 4.19 e 4.20.



Figura 4.19 – Massa Específica do Pedrisco

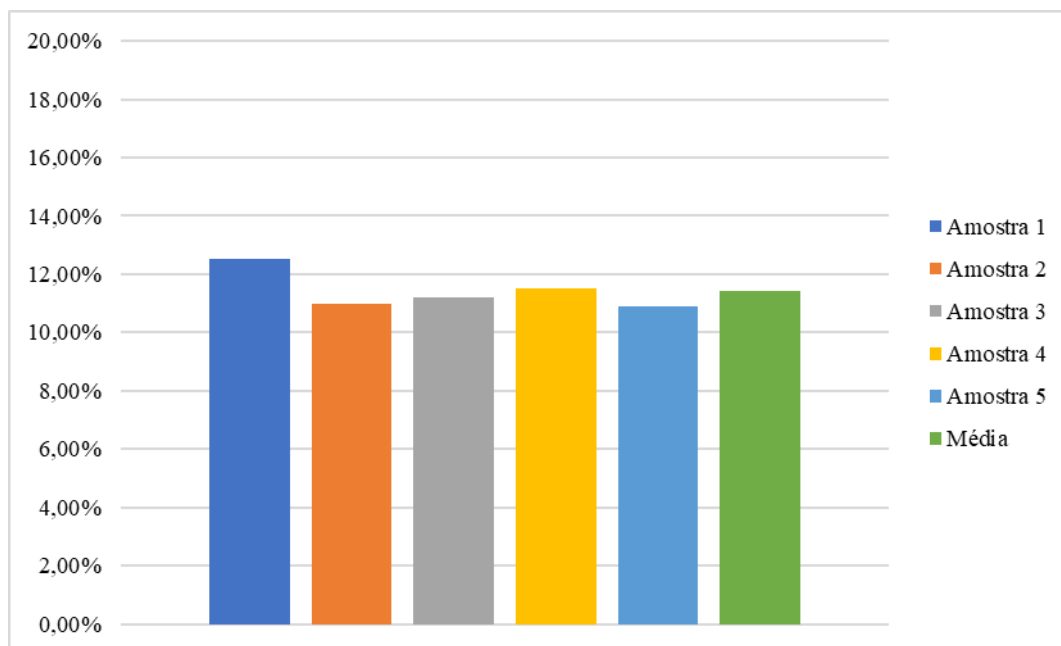


Figura 4.20 – Absorção de Água do Pedrisco

Nota-se que a massa específica do agregado seco variou de $2,69 \text{ g/cm}^3$ a $2,50 \text{ g/cm}^3$ com uma média de $2,58 \text{ g/cm}^3$, a massa específica do agregado na condição SSS variou de $2,26 \text{ g/cm}^3$ a $2,18 \text{ g/cm}^3$ com uma média de $2,22 \text{ g/cm}^3$ e a massa específica aparente do agregado seco variou de $2,02 \text{ g/cm}^3$ a $1,96 \text{ g/cm}^3$, com uma média de $1,99 \text{ g/cm}^3$. O valor está próximo ao apresentado na Tabela 2.6 de $2,72 \text{ g/cm}^3$, mas com uma diferença maior que a encontrada para areia dependendo da amostra. Já a absorção de água variou de $12,53\%$ a $10,89\%$, chegando a uma média de $11,42\%$. Os resultados mostraram que

mesmo sendo agregado reciclado, as propriedades se mantem constantes com o tempo. O limite apresentado para absorção de água na Tabela 2.4 é de 12% para ARM onde apenas uma das amostras ultrapassou esse limite e a média manteve-se abaixo dele. Sendo assim, pode-se dizer que em 80% dos casos o material atende aos requisitos de norma.

O material passante na peneira de 4,75 mm pode ser visto na Figura 4.21:

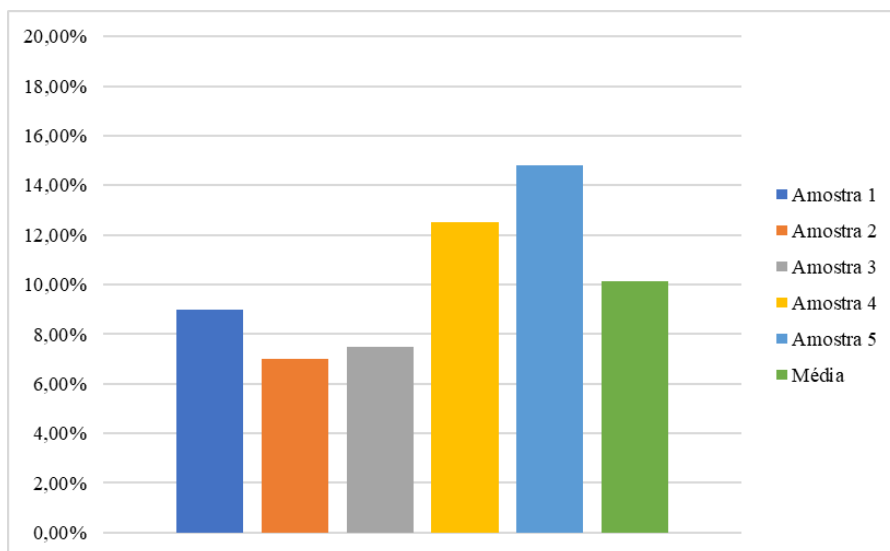


Figura 4.21 - Material Passante na Peneira de 4,75 mm (Pedrisco)

De acordo com a Tabela 2.4, tem-se que o teor de material passante na malha de 75 μm é de no máximo 10%. Como na média dos resultados o material passante na malha de 4,75 mm foi de aproximadamente 10%, tem-se que o teor de material passante na malha de 75 μm não atinge o limite de 10% estipulado em norma, atendendo aos requisitos.

4.3.2.2 Brita

A brita já apresentou um resultado um pouco diferente do pedrisco, como pode ser visto na Figura 4.22.

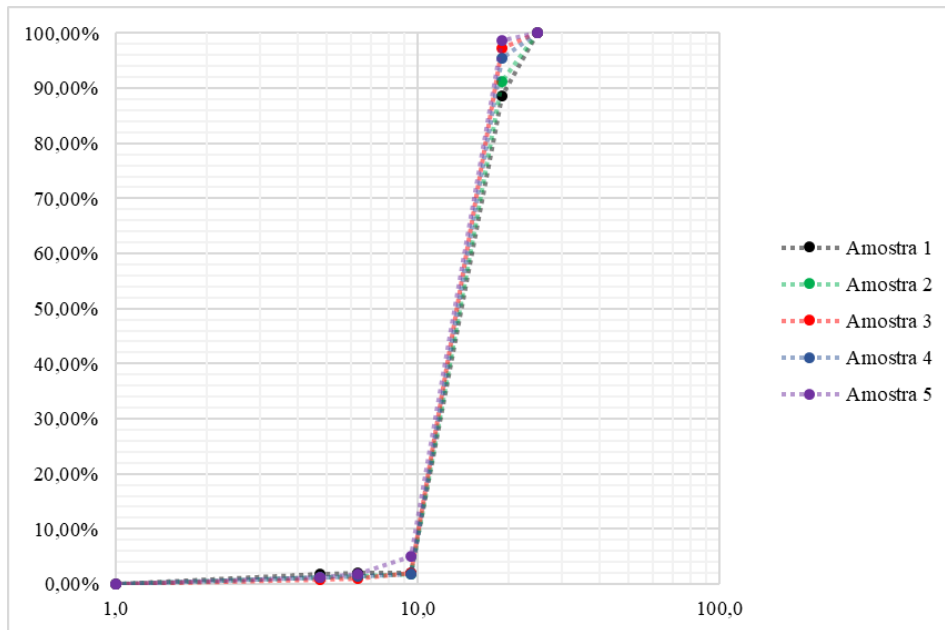


Figura 4.22 - Gráfico das Zonas para a Brita

Pode-se notar que as amostras já se apresentaram dentro dos limites recomendados pela norma, isso pode ser melhor visto no gráfico da média mostrado na Figura 4.23.

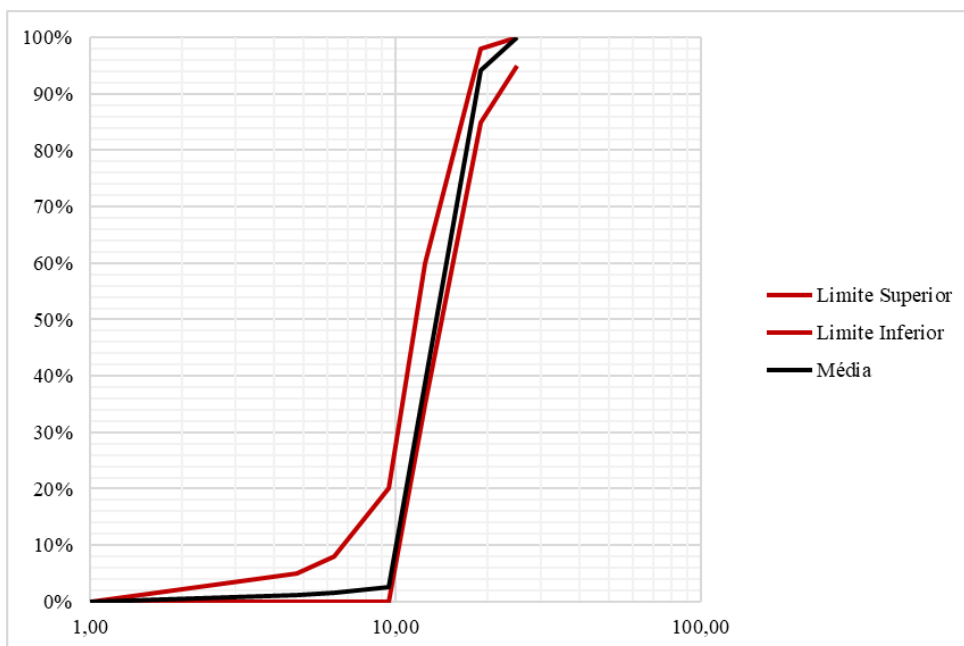


Figura 4.23 - Média das Amostra x Zona Utilizável

Para a massa específica e absorção de água houve um resultado um pouco diferente, no qual o material mostrou uma densidade 3% menor que o pedrisco em sua média, mas possui uma absorção de água um pouco menor, como pode ser visto nos gráficos da Figura 4.24 e 4.25.

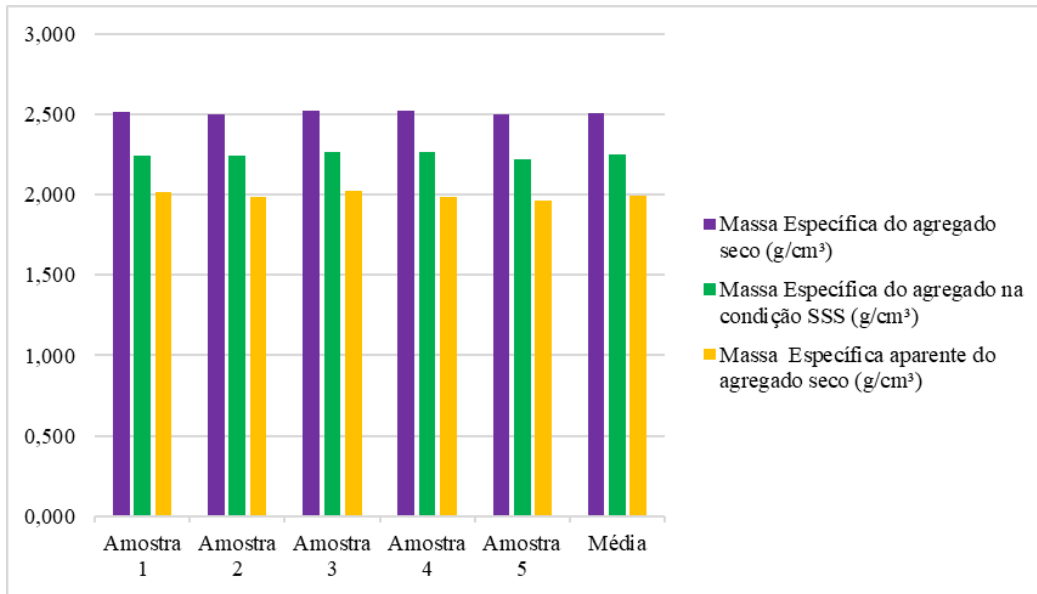


Figura 4.24 – Massa Específica da Brita

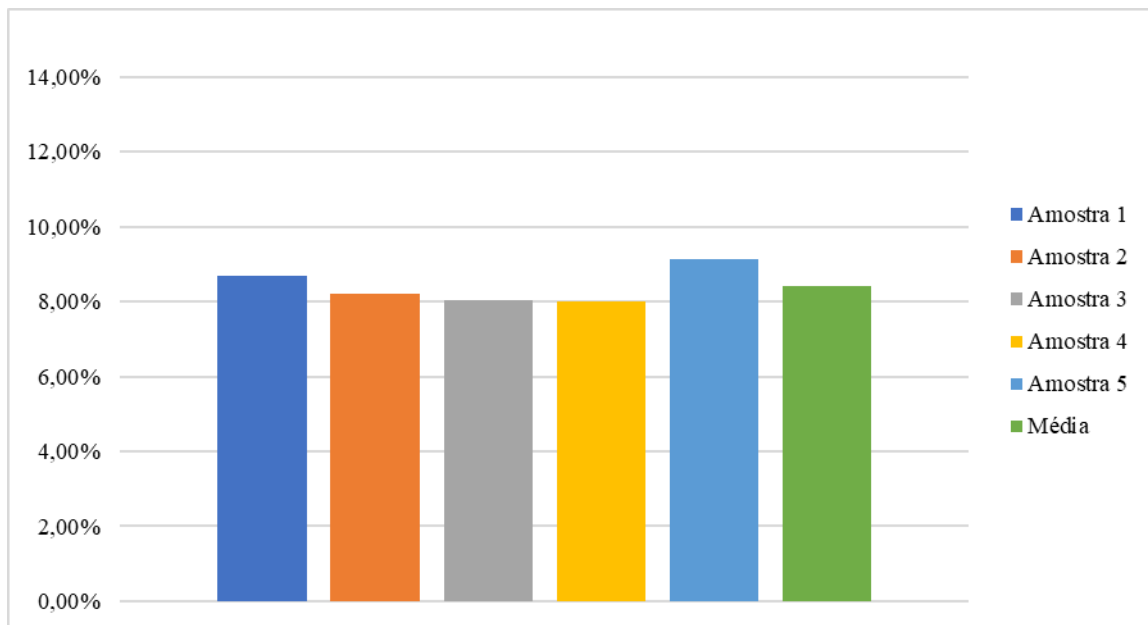


Figura 4.25 – Absorção de Água da Brita

Nota-se que a massa específica do agregado seco variou de $2,52 \text{ g/cm}^3$ a $2,50 \text{ g/cm}^3$ com uma média de $2,51 \text{ g/cm}^3$, a massa específica do agregado na condição SSS variou de $2,26 \text{ g/cm}^3$ a $2,22 \text{ g/cm}^3$ com uma média de $2,25 \text{ g/cm}^3$ e a massa específica aparente do agregado seco variou de $2,10 \text{ g/cm}^3$ a $2,03 \text{ g/cm}^3$, com uma média de $2,07 \text{ g/cm}^3$. Comparando com os resultados anteriores, a massa específica decresceu um pouco para a brita, mostrando uma variação média de 3% nos valores encontrados como já citado, ou

seja, o material apresenta maior homogeneidade. Já a absorção de água variou de 12,53% a 10,89%, chegando a uma média de 11,42%. Os resultados também mostraram que mesmo sendo agregado reciclado, as propriedades se mantêm constantes com o tempo. Assim como o pedrisco, o limite de absorção de água é de 12%, onde nenhuma das amostras atingiu esse limite. Sendo assim, o material atende aos requisitos de norma.

A porcentagem de material passante na peneira de 4,75 mm pode ser vista na Figura 4.26.

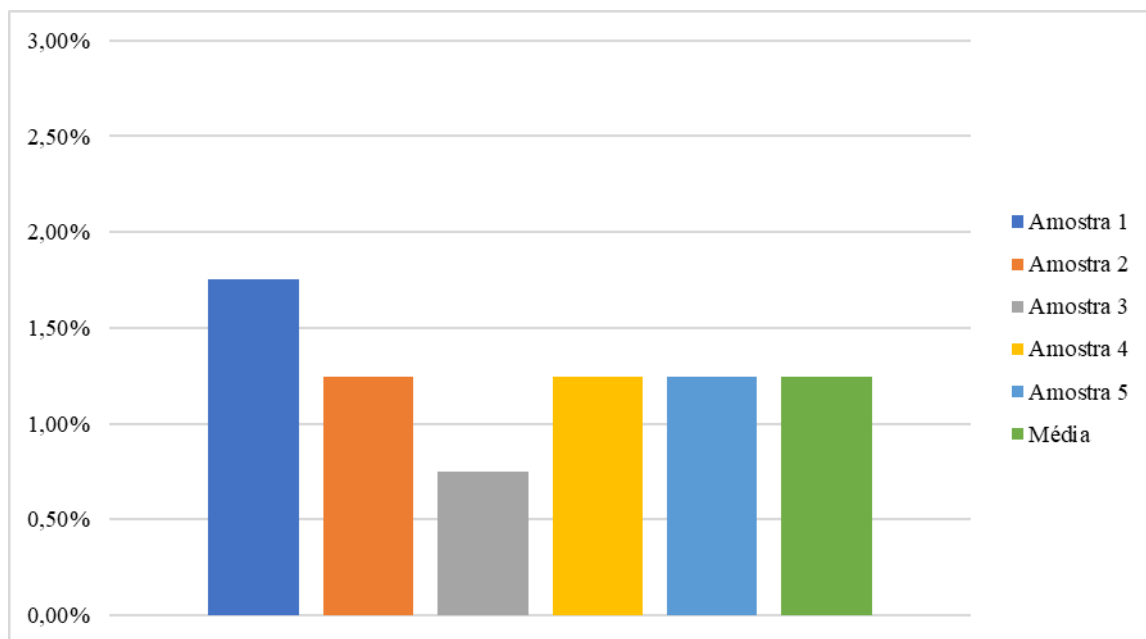


Figura 4.26 - Material Passante na malha de 4,75 mm (Brita)

Como a porcentagem de material passante na malha de 4,75 mm não chegou nem a 2% e que o limite da norma para o teor de material passante na malha de 75 μ m, assim como o pedrisco, é de 10%, tem-se que o material atende aos requisitos de norma.

4.3.3 Influência do Tempo na Retirada das Amostras

Pode-se notar que não há um padrão entre as primeiras duas amostras e as três últimas, já que foram tiradas em épocas diferentes. Isso pode ser por causa da mutabilidade do material recebido para reciclagem, criando uma heterogeneidade no agregado reciclado produzido.

5 CONCLUSÃO

Com base nas análises dos resultados, pode-se concluir que a pesquisa obteve êxito em caracterizar o agregado reciclado quanto a sua granulometria, massa específica e absorção de água. Há algumas ressalvas para as peneiras utilizadas, o ensaio de massa específica e absorção de água realizado para o agregado miúdo, mas o resultado obtido foi satisfatório.

A partir dos resultados obtidos, infere-se que os agregados atendem aos requisitos mínimos de norma, com exceção do pedrisco que está um pouco fora da curva granulométrica e possui uma taxa de absorção de água que está no limite recomendado por norma e, além do pedrisco, o agregado miúdo que possui um pouco da sua curva granulométrica fora do limite recomendado. Mesmo assim, o agregado analisado possui características próximas aos agregados naturais em alguns quesitos, mas com um aprimoramento no processo de produção essas características podem ser melhoradas ainda mais e ajustar os problemas encontrados anteriormente.

O maior problema encontrado para o agregado analisado foi sua alta absorção de água, sendo assim, sugere-se a implementação de um processo que auxilie na diminuição dessa absorção que pode ser prejudicial na fabricação de concreto utilizando esse agregado. Além disso, também seria interessante uma melhoria que auxiliasse no enquadramento da curva granulométrica na zona que é recomendada por norma para a areia e o pedrisco.

O processo de produção do agregado reciclado analisado, apesar dos problemas citados, é bom, mas precisa de melhorias para adequar aos requisitos de norma. Essas melhorias não são difíceis de ser alcançadas, sendo que a mudança das peneiras utilizadas, uma limpeza do material que será reciclado ou um controle maior na triagem dos resíduos utilizados pode resolver esses problemas de granulometria e absorção de água, eliminando materiais porosos ou que produzam muito material pulverulento.

Para garantir a qualidade do processo, indica-se realizar uma análise do material a partir de sua produção, levando amostras a um laboratório para manter um controle do material produzido e viabilizar a sua utilização para produção de artefatos de concreto, no qual o controle garantirá que o material utilizado atende a norma. A metodologia recomendada seria realizar análises periódicas, de acordo com a produção, da granulometria, massa específica e absorção de água, além disso, analisar os requisitos

químicos da Tabela 2.4 que não foram realizados nesse projeto. Dessa forma haverá garantia da qualidade do agregado e se atendem a norma. Além disso, seria necessário verificar se o artefato de concreto não estrutural produzido atende aos requisitos mínimos de acordo com o que será produzido, pois cada tipo de artefato possui a sua norma, no qual ela delimita verificações periódicas a partir da produção também.

Sendo assim, tem-se que:

- Na Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno (RIDE-DF) atualmente existe apenas uma empresa privada que atua dentro das exigências legais e ambientais da atividade de produção de agregados reciclados;
- Coloca-se que o processo de produção do agregado reciclado atende aos requisitos de logística reversa, podendo ser reincorporado na cadeia produtiva da construção civil.
- Para avaliar de forma simplificada os agregados reciclados para uso na produção de artefatos de concreto não estruturais foram elencados as seguintes avaliações: distribuição granulométrica, massa específica e absorção de água;
- Recomenda-se a realização de análises periódicas, de acordo com o volume da produção. Ressalta-se que a análise dos requisitos químicos descritos pela ABNT NBR 15116:2004 deverão ser realizados de forma complementar para criação de um banco de dados para acompanhamento da qualidade das amostras.

Ou seja, os agregados avaliados apresentam potencial para uso na produção de artefatos de concreto não estruturais. Quando utilizados para esse fim, pode-se afirmar que estarão enquadrados na política de logística reversa dentro da Cadeia Produtiva da Construção Civil.

Vale ressaltar, porém, que estas conclusões são válidas apenas para as amostragens coletadas e analisadas nesta pesquisa, podendo ser utilizadas futuramente para comparações com outras pesquisas.

5.1 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

- Avaliar os efeitos de mudanças no sistema produtivo do agregado reciclado (triagem, britagem e lavagem), com intuito de melhorar as propriedades dos agregados destinados para uso na produção de artefatos de concreto não estruturais;
- Criação de um banco de dados com os resultados da caracterização dos agregados reciclados para uso na produção de artefatos de concreto não estruturais, para controle da qualidade da produção e do agregado produzido;
- Avaliação da produção de artefatos de concreto com uso de agregados reciclados em substituição ao agregado natural; e
- Pesquisa de Viabilidade Econômica do emprego do agregado reciclado produzido no Distrito Federal como substituição do agregado natural na produção de artefatos de concreto não estruturais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT: NBR 6136: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos. 2016.
- _____: NBR 6457: Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. 2016.
- _____: NBR 7181: Solo - Análise granulométrica. 2016.
- _____: NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação. 2009.
- _____: NBR 7218: Agregados - Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. 2010.
- _____: NBR 7809: Agregado graúdo - Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro - Método de ensaio. 2006.
- _____: NBR 9776: Agregados - determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. 1987.
- _____: NBR 9781: Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio. 2013.
- _____: NBR 9917: Agregados para concreto - Determinação de sais, cloretos e sulfatos solúveis. 2009.
- _____: NBR 12118: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Métodos de ensaio. 2013.
- _____: NBR 15116: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos. 2004.
- _____: NBR NM 26: Agregados – Amostragem. 2009.
- _____: NBR NM 27: Agregados - Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. 2001.
- _____: NBR NM 30: Agregado miúdo - Determinação da absorção de água. 2001.
- _____: NBR NM 46: Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem. 2003.
- _____: NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente. 2002.
- _____: NBR NM 53: Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. 2009.
- _____: NBR NM 59: Método de ensaio de dobramento alternado para chapas e tiras de aço de espessura menor ou igual a 3 mm. 2000.
- _____: NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica. 2003.
- ANGULO, S. C. Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- ANGULO, S. C.; ULSEN, C.; LIMA, F. M. R. S.; CHAVES, A. P.; JOHN, V. M.

Processamento de resíduos de construção e demolição em usinas de reciclagem Europeias. In: Encontro Nacional sobre Aproveitamento de Resíduos na Construção, 2009b. Porto Alegre. Proceedings. Porto Alegre: 2009b.

ALVES, L. S. Influência da adição de fibras de celulose (papel kraft) nas características dos blocos de concreto não estrutural. 2016. 129p. Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Distrito Federal, 2016.

BARTOLI, H. Logística Reversa e Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição. ABRECON. Disponível em: <http://www.wasteexpo.com.br/assets/hewerton_bartoli_abrecon.pdf> Acesso em: 13 jun. 2018.

BAZUCO, R. S. Utilização de Agregados Reciclados de Concreto para Produção de Novos Concretos. 1999. 112p. Dissertação de Mestrado- Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Catarina, 1999.

BRASIL. Presidência da República. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm> Acesso em: 13 jun. 2018.

BRASIL. Presidência da República. Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm> Acesso em: 13 jun. 2018.

BITTENCORT, S. F. Avaliação da resistência à compressão de pavers produzidos com agregados de resíduos de construção e areia de fundição. 2012. 125 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Inovação) - Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas, Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2012.

COLLINS, R. J. Increasing the Use of Recycled Aggregates in Construction. Concrete For Environment Enhancement and Protection. pp. 73-80. London, 1996.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA: Resolução nº. 307, de 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 17 de julho de 2002. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307> >.

COSTA, P. G. S. Análise das viabilidades técnica, econômica e sustentável do bloco de concreto convencional em comparação com o bloco de concreto reciclável. 2017. 88 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Centro Universitário de Formiga, Formiga, 2017.

FERNANDES, I. D. Blocos e Pavers – Produção e Controle de Qualidade. 4. Ed. Ribeirão Preto: Treino Assessoria e Treinamentos Empresariais Ltda, 2013. 200 p.c

GÓMEZ-SOBERÓN, J. M.G. Relationship between gas absorption and the shrinkage and creep of recycled aggregate concrete. Cement, Concrete and Aggregates. Vol 25, n 2, p 42-48, 2003.

HANSEN, T. C. Recycling of Demolished Concrete and Masonry. RILEM Report 6. Ed Chapman & Hall, London, 1992. 316p.

- HAWLITSCHKEK, G. Caracterização das Propriedades de Agregados Miúdos Reciclados e a Influência no Comportamento Reológico de Argamassas. 2014. 166p. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.
- HOOD, R. S. S. Análise da Viabilidade Técnica da Utilização de Resíduos de Construção e Demolição como Agregado Miúdo Reciclado na Confecção de Blocos de Concreto para Pavimentação. 2006. 150 p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.
- LEVY, S. L. Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e alvenaria. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. 2ª ed. Editora Ibracon. [s.l: s.n.], 2014.
- MERCADO. ABRECON. Disponível em: < <http://abrecon.org.br/entulho/mercado/>> Acesso em: 13 jun. 2018.
- MIRANDA, L. F. R.; ANGULO, S. C.; CARELI, É. D. A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008. Ambiente Construído, v. 9, n. 1, p. 57-71, 2009.
- NORMA DNIT 020: Drenagem – Meios-fios e guias – Especificação de serviço. 2006 – ES.
- PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL. Abrelpe. São Paulo. 2016. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2016.pdf>> Acesso em: 13 jun. 2018.
- PERSPECTIVA PARA 2017. ABRECON. Disponível em: <<http://abrecon.org.br/perspectivas-para-2017/>> Acesso em: 13 jun. 2018.
- PACHECO-TORGAL, F.; TAM, V.; LABRINCHA, J. A.; DING, Y.; DE BRITO, J. Handbook of recycled concrete and demolition waste. 2ª ed. Oxford: [s.n.], 2013.
- SILVA, A. B.; MACIEL, J. C. S. Viabilidade técnica da utilização de concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. Revista Igapó - Revista de Educação Ciência e Tecnologia do IFAM, v. 3, p. 109-114, 2014.
- SILVA, R.V. DE BRITO, J., DHIR R.K. Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste suitable for concrete production. Construction and Building Materials, v. 63, p. 201–217, 2014.
- TENÓRIO, J. J. L. Avaliação de Propriedades do Concreto Produzido com Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição visando Aplicações Estruturais. 2007. 138p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2007.

ANEXOS

ANEXO A – DADOS COLETADOS EM LABORATÓRIO

Tabela 0.1 – Dados Coletados na Granulometria da Areia

| Amostra | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----------------------------|----------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Areia | Amostra (g) | 1000,30 | 1000,00 | 1000,00 | 1000,00 | 1000,00 |
| | Peneira 4,78 mm vazia (g) | 553,24 | 553,25 | 551,50 | 551,39 | 551,42 |
| | Peneira 4,78 mm após peneiramento (g) | 553,24 | 553,25 | 551,50 | 551,39 | 551,42 |
| | Peneira 2,00 mm vazia (g) | 438,81 | 446,29 | 437,70 | 438,86 | 439,56 |
| | Peneira 2,00 mm após peneiramento (g) | 670,30 | 681,00 | 578,00 | 573,19 | 755,60 |
| | Peneira 1,19 mm vazia (g) | 581,38 | 581,34 | 565,60 | 448,51 | 448,90 |
| | Peneira 1,19 mm após peneiramento (g) | 751,10 | 709,90 | 711,40 | 546,82 | 589,00 |
| | Peneira 0,59 mm vazia (g) | 520,97 | 521,03 | 400,80 | 402,00 | 402,43 |
| | Peneira 0,59 mm após peneiramento (g) | 647,10 | 623,20 | 566,10 | 544,71 | 539,60 |
| | Peneira 0,35 mm vazia (g) | 380,17 | 380,26 | 379,20 | 380,39 | 381,55 |
| | Peneira 0,35 mm após peneiramento (g) | 550,70 | 514,20 | 551,00 | 523,28 | 476,10 |
| | Peneira 0,25 mm vazia (g) | 358,76 | 358,84 | 357,70 | 358,76 | 359,61 |
| | Peneira 0,25 mm após peneiramento (g) | 456,70 | 455,80 | 494,50 | 489,10 | 431,70 |
| | Peneira 0,150 mm vazia (g) | 345,16 | 345,20 | 334,80 | 344,86 | 345,31 |
| | Peneira 0,150 mm após peneiramento (g) | 443,50 | 470,30 | 456,80 | 480,15 | 434,60 |
| | Peneira 0,075 mm vazia (g) | 327,75 | 327,92 | 326,70 | 373,75 | 327,60 |
| | Peneira 0,075 mm após peneiramento (g) | 373,50 | 398,00 | 377,70 | 495,20 | 363,70 |
| | Fundo vazio (g) | 341,93 | 337,15 | 336,15 | 337,13 | 337,11 |
| Fundo após peneiramento (g) | 400,42 | 443,30 | 400,80 | 430,59 | 450,17 | |

Tabela 0.2 – Dados Coletados na Granulometria do Pedrisco

| Amostra | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----------|----------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Pedrisco | Amostra (kg) | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 |
| | Peneira 9,5 mm vazia (kg) | 6,16 | 6,16 | 6,16 | 6,16 | 6,16 |
| | Peneira 9,5 mm após peneiramento (kg) | 6,99 | 7,32 | 7,02 | 6,69 | 6,80 |
| | Peneira 6,3 mm vazia (kg) | 8,54 | 8,42 | 8,43 | 8,43 | 8,43 |
| | Peneira 6,3 mm após peneiramento (kg) | 10,73 | 10,65 | 10,75 | 10,76 | 10,46 |
| | Peneira 4,75 mm vazia (kg) | 8,81 | 8,81 | 8,81 | 8,81 | 8,81 |
| | Peneira 4,75 mm após peneiramento (kg) | 9,34 | 9,15 | 9,33 | 9,45 | 9,54 |
| | Fundo vazio (kg) | 5,27 | 5,26 | 5,22 | 5,22 | 5,26 |
| | Fundo após peneiramento (kg) | 5,62 | 5,54 | 5,52 | 5,72 | 5,85 |

Tabela 0.3 – Dados Coletados na Granulometria da Brita

| Amostra | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---------|----------------------------------------|------|------|------|------|------|
| Brita | Amostra (kg) | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 |
| | Peneira 19,0 mm vazia (kg) | 6,52 | 6,52 | 6,52 | 6,52 | 6,52 |
| | Peneira 19,0 mm após peneiramento (kg) | 6,98 | 6,87 | 6,63 | 6,70 | 6,57 |
| | Peneira 9,5 mm vazia (kg) | 6,16 | 6,16 | 6,16 | 6,16 | 6,16 |
| | Peneira 9,5 mm após peneiramento (kg) | 9,62 | 9,75 | 9,99 | 9,92 | 9,93 |
| | Peneira 6,3 mm vazia (kg) | 8,54 | 8,42 | 8,43 | 8,43 | 8,43 |
| | Peneira 6,3 mm após peneiramento (kg) | 8,54 | 8,43 | 8,47 | 8,44 | 8,56 |
| | Peneira 4,75 mm vazia (kg) | 8,81 | 8,81 | 8,81 | 8,81 | 8,81 |
| | Peneira 4,75 mm após peneiramento (kg) | 8,82 | 8,82 | 8,82 | 8,82 | 8,83 |
| | Fundo vazio (kg) | 5,27 | 5,26 | 5,22 | 5,22 | 5,26 |
| | Fundo após peneiramento (kg) | 5,34 | 5,31 | 5,25 | 5,27 | 5,31 |

Tabela 0.4 – Dados Coletados para Massa Específica e Absorção de Água

| Amostra | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----------|---------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Areia | Amostra (g) | 500,00 | 500,00 | 500,00 | 500,00 | 500,00 |
| | Volume de Água (mL) | 200,00 | 200,00 | 200,00 | 200,00 | 200,00 |
| | Volume de água + areia 1 (mL) | 405,00 | 400,00 | 400,50 | 400,00 | 398,00 |
| | Volume de água + areia 2 (mL) | 404,50 | 400,50 | 400,00 | 400,00 | 401,00 |
| | Amostra (g) | 1000,00 | 1000,00 | 1000,00 | 1000,00 | 1000,00 |
| | Massa SSS (g) | 1090,30 | 1057,30 | 1012,70 | 1149,20 | 1078,10 |
| | Massa seca após experimento (g) | 995,20 | 942,90 | 969,20 | 1083,60 | 943,80 |
| Pedrisco | Amostra (g) | 3000,00 | 3000,00 | 3000,00 | 3000,00 | 3000,00 |
| | Massa Submersa (g) | 1835,23 | 1734,87 | 1822,43 | 1764,31 | 1696,36 |
| | Massa SSS (g) | 3287,30 | 3174,80 | 3284,20 | 3220,60 | 3137,77 |
| | Massa seca após experimento (g) | 2921,20 | 2861,20 | 2953,80 | 2887,95 | 2829,70 |
| Brita | Amostra (g) | 3000,00 | 3000,00 | 3000,00 | 3000,00 | 3000,00 |
| | Massa Submersa (g) | 1807,82 | 1757,28 | 1806,75 | 1768,78 | 1728,22 |
| | Massa SSS (g) | 3264,40 | 3171,30 | 3237,80 | 3168,00 | 3145,20 |
| | Massa seca após experimento (g) | 3003,60 | 2930,90 | 2997,30 | 2933,37 | 2881,90 |