UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

GRAZIELLE TIGRE DE SOUZA

KAREN SUELY MARTINS BERNARDO

CONFECÇÃO DE ARGAMASSA COM A SUBSTITUIÇÃO TOTAL DO AGREGADO NATURAL POR AGREGADOS PROVENIENTES DE RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)

Tucuruí - PA
2014

GRAZIELLE TIGRE DE SOUZA
KAREN SUELY MARTINS BERNARDO

CONFECÇÃO DE ARGAMASSA COM A SUBSTITUIÇÃO TOTAL DO AGREGADO NATURAL POR AGREGADOS PROVENIENTES DE RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil, na Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará.
Orientadora: Prof.ª Me. Aline Furtado Louzada.

Tucuruí - PA
2014

GRAZIELLE TIGRE DE SOUZA
KAREN SUELY MARTINS BERNARDO

CONFECÇÃO DE ARGAMASSA COM A SUBSTITUIÇÃO TOTAL DO AGREGADO NATURAL POR AGREGADOS PROVENIENTES DE RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil na faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal Pará.

Tucuruí, 22 de Dezembro de 2014.

Aprovado por:

Prof.ª Me. Aline Furtado Louzada
Orientadora UFPA

Prof.ª Dr. Fernanda Gouveia
Examinador Interno

Prof.º Dr. Laércio Gouvêa Gomes
Examinador Externo

“Sem sonhos, a vida não tem brilho. Sem metas, os sonhos não têm alicerces. Sem prioridade, os sonhos não se tornam reais. Sonhe, trace metas, estabeleça prioridade e corra riscos para executar seus sonhos. Melhor é errar por tentar do que errar por se omitir!”
Augusto Cury

DEDICATÓRIA

Dedicamos este trabalho às nossas famílias pelo incentivo e apoio ao longo deste desafio. Aos nossos amigos que nos alegraram nos momentos difíceis. E principalmente à Deus que nos possibilitou chegar a este momento.

AGRADECIMENTOS - Grazielle Tigre

À **Deus**, em primeiro lugar por essa vitória tão importante na minha vida.

À minha amiga e parceira de trabalho **Karen Bernardo**. Obrigada pela compreensão em todas as fases desta empreitada, e por toda a dedicação empenhada para que este trabalho atingisse o melhor resultado possível.

À **Prof.ª Aline Furtado Louzada** pela orientação, confiança, paciência constante, dedicação e colaboração no desenvolvimento deste projeto, e também aos seus pais por nos receber com carinho em seu lar.

À minha mãe **Guiomar Tigre**, meu maior exemplo de determinação e coragem. Muito obrigada pelas suas orações, conselhos e pelas palavras de amor e carinho.

Ao meu pai **Adeilton Gomes** pelo apoio e incentivo, apesar da distância.

À minha irmã **Gabriela Tigre** pelo amor e carinho demonstrado.

Às minhas amigas **Gabriela Leão**, **Jaqueline Pinheiro, Jéssica Magda** e **Talita Garcia**. Assim como meus grandes amigos **Abraão Castilho**, **Luís Gustavo Coelho** e **Wesley Fernandes**, que a graduação me deu a oportunidade de conhecer. Obrigada por todo o carinho e companheirismo ao longo destes anos.

Ao **Eng. Eden Sérgio Bernardo** pela contribuição e apoio incondicional em todas as fases deste trabalho, pelo qual com dedicação e eficiência transmitiu seus conhecimentos e experiência.

À **Eng. Ângela Suely Martins Bernardo** pela contribuição e estímulos constantes para vencermos mais este desafio.

Aos **colaboradores da Eletrobras/Eletronorte**, pelo auxílio prestado.

Ao **Prof.º Laércio Gouvea** por sua contribuição e disposição, nos prestando auxilio na realização e análise do ensaio de microscopia.

Ao **Prof.º Marcelo Picanço** pelas indicações e sugestões fundamentais ao desenvolvimento desta pesquisa.

À **Francirene** e à **Prof.ª Fernanda Gouveia,** responsável pelo Laboratório de Engenharia Civil da UFPA, pelo auxílio e confiabilidade no uso dos equipamentos para a realização dos ensaios.

A todos, os meus sinceros votos de agradecimento.

AGRADECIMENTOS – Karen Bernardo

Agradeço primeiramente à **Deus**, por sempre iluminar meus caminhos e por fazer com que mais esse sonho se realize.

À minha amiga e parceira de trabalho, **Grazielle Tigre** que aceitou enfrentar essa jornada comigo, sendo peça chave na realização deste trabalho, pelas noites acordada e por tudo que compartilharmos nesse período, a convivência, as alegrias, as frustrações, o cansaço, enfim pela sua dedicação ao nosso trabalho.

À **Prof.ª Aline Furtado Louzada**, pela orientação, por transmitir seus conhecimentos, por fazer do nosso trabalho uma experiência positiva e por ter confiado em nós, sempre estando ali nos orientando e dedicando parte do seu tempo para desenvolvermos este trabalho, e também aos seus pais por nos receber com carinho em seu lar.

À minha mãe, **Eng. Ângela Suely Martins Bernardo**, por todos os momentos dedicados a mim, pelas palavras, pelos conselhos, pelo amor, pela honestidade, pelo afeto, pela amizade. Muito mais do que mãe você é minha amiga, e meu escudo contra todas as coisas ruins. Obrigado novamente mamãe. Essa conquista é sua também.

Ao meu pai, **Eng. Eden Sérgio Bernardo**, que nos ajudou a idealizar e concretizar este trabalho, sua orientação e conselho nos guiaram quando tudo o mais parecia confuso. Você doou o seu tempo para nos ajudar, e sem você nada disso seria possível. A você meu pai, expresso o meu maior agradecimento.

Ao meu irmão, **Eng. Eden Sérgio Bernardo Júnior** que me ajudava a descontrair e relaxar com as nossas sempre constantes palhaçadas e brincadeiras.

À **minha família** maravilhosa, que esteve sempre presente me incentivando e ficando ao meu lado nas horas em que eu mais precisava.

Às minhas colegas de curso e amigas, **Aline Maria**, **Jaciara Brandão** e **Rosângela Silva**, que estiveram, incessantemente, comigo durante esses cinco anos.

À **Eletrobras/Eletronorte** pelo fornecimento dos equipamentos e materiais que possibilitaram a elaboração desta pesquisa, pelos colaboradores do Setor de Gestão da Manutenção Civil, em especial: **Sr. Alberto**, que muito contribuíram para a realização deste trabalho.

À **Francirene** e à **Prof.ª Fernanda Gouveia,** responsável pelo Laboratório de Engenharia Civil da UFPA, pela confiabilidade no uso dos equipamentos para os ensaios.

RESUMO

A indústria da construção civil se destaca como um setor produtivo, que possui significante papel na economia nacional. Em contrapartida, este setor sobressai como uma atividade geradora de elevada quantidade de resíduos de diversas naturezas, sendo responsável também pelo consumo excessivo de recursos naturais, provenientes de fontes não renováveis. A reciclagem dos resíduos oriundos desta cadeia produtiva desempenha um papel importante para a sustentabilidade, promovendo a conservação dos recursos naturais e a redução de áreas para disposição final. O foco principal desta pesquisa é o estudo do aproveitamento de Resíduos de Construção e Demolição (RCD), contribuindo para o desenvolvimento de materiais alternativos. Neste sentido, o objetivo principal desta pesquisa é avaliar o emprego de RCD gerado na Usina Hidrelétrica de Tucuruí, como agregado miúdo na produção de argamassas de revestimento, considerando a substituição de 100% do agregado natural. Foram realizados testes laboratoriais com intuito de avaliar as características físicas do RCD e posteriormente produzidas argamassas com traço de 1:5, sendo avaliadas as propriedades no estado fresco e endurecido, comparando-as com o comportamento das argamassas de referência com Areia Natural. Os resultados obtidos no procedimento experimental apresentaram resultados satisfatórios, de acordo com as normas utilizadas, para uso em substituição ao agregado miúdo natural, representando alternativas que contribuem para a sustentabilidade na construção civil.

Palavras chave: Resíduo de Construção e Demolição; Argamassa de revestimento; Agregado reciclado.

ABSTRACT

The industry of civil construction stands out as a productive sector, which has a significant role in the national economy. However, this sector stands out as an activity that generates a high amount of waste of various kinds, and also responsible for excessive consumption of natural resources, from non-renewable sources. The recycling of waste from this production chain performs an important role for sustainability, promoting conservation of natural resources and the reduction of areas for final disposal. The primary focus of this research is the study of utilization the Waste of Construction and Demolition (WCD), contributing to the development of alternative materials. In this sense, the main objective of this research is evaluate the use of RCD generated in Tucuruí Hydropower Plant, as fine aggregate in the production of mortars, considering replacing 100% of the natural aggregate. Were conducted laboratory tests designed to evaluate the RCD characteristics and subsequently produced mortars with trace of 1: 5 and evaluated the proprieties in its fresh and hardened condition, comparing them with the behavior of the reference mortar with natural sand. The results obtained in the experimental procedure presented technological potential for use in replacement of natural aggregate, representing one alternative that contribute to sustainability in construction.

Keywords: Waste of Construction and Demolition; Coating Mortars; Recycled Aggregate.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Camadas de Revestimento de uma parede. 17
Figura 2- Hierarquização das ações 32
Figura 3 – Mapa de localização do município de Tucuruí. 36
Figura 4 – Disposição de RCD no lixão. 37
Figura 5 – Localização do atual lixão de Tucuruí. 37
Figura 6 – Usina Hidrelétrica de Tucuruí. 38
Figura 7 – Serviços de manutenção e reforma na UHE Tucuruí. 40
Figura 8 – Vila Permanente. 41
Figura 9 – RCD proveniente de reforma e deposição irregular. 42
Figura 10 – Fluxograma da metodologia da pesquisa 45
Figura 11 – Coleta de RCD no pátio de armazenagem da UHE Tucuruí. 46
Figura 12 - Moinho usado para triturar o resíduo. 47
Figura 13 – Peneiramento do RCD moído. 48
Figura 14 – Equipamento utilizados no Ensaio de Granulometria 49
Figura 15 – Cone de agregado miúdo reciclado após retirada do molde. 50
Figura 16 – Balão volumétrico com as amostras de agregado de RCD. 51
Figura 17 – Superfícies para ensaio de aderência. 55
Figura 18 – Aplicação do chapisco nas superfícies. 55
Figura 19 – Aplicação da camada única para ensaio de aderência. 56
Figura 20 - Execução dos furos. 56
Figura 21 – Ensaio de aderência 57
Figura 22 – Formas de ruptura. 58
Figura 23 – Tronco cônico sob a *flow table*. 59
Figura 24 – Medição com o paquímetro. 59
Figura 25 – Produção e moldagem da argamassa com RCD. 60
Figura 26 - Após o rasamento do molde. 61
Figura 27 – Corte das barras com serra circular. 61
Figura 28 – Equipamento de ensaio de compressão axial. 62
Figura 29 - Equipamento de microscopia eletrônica de varredura (MEV). 63
Figura 30 – Posicionamento das amostras no equipamento. 63

Figura 31 – Corpo de prova ensaiado. 71
Figura 32 - Imagens em MEV das amostras, com aumento de 105 vezes. 76
Figura 33 – pontos selecionados para determinação da composição química. 77
Figura 34 - Espectro de energia obtido pelo MEV-EDS para a amostra 1. 77
Figura 35 - Espectro de energia obtido pelo MEV-EDS para a amostra 2. 78

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – PIB Brasil x PIB Construção Civil – 2004/2013.....6
Gráfico 2 – Total de RCD coletado – Regiões e Brasil.....10
Gráfico 3 – Composição média dos materiais de RCD de obras no Brasil.....11
Gráfico 4 – Composição da Fonte Geradora do RDC no Brasil. 12
Gráfico 5 – Curva Granulométrica do RCD.....65
Gráfico 6 – Curva Granulométrica da Areia Natural 66

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Normas Técnicas aplicáveis 28
Quadro 2– Formas de Ruptura.....70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Quantidade de RCD coletado pelos municípios no Brasil. 10
Tabela 2 - Coleta de RCD na região Norte. 10
Tabela 3 - Estimativa de porcentagem de RCD reciclado no país. 13
Tabela 4 – Classificação dos agregados quanto ao módulo de finura. 26
Tabela 5 – Relação a/c adotadas 53
Tabela 6 – Resultado do Ensaio de Granulometria do RCD. 64
Tabela 7 – Resultado do Ensaio de Granulometria da Areia Natural. 66
Tabela 8 – Resultados da massa específica do RCD. 67
Tabela 9 - Resultados da massa específica da Areia Natural. 68
Tabela 10 – Resultado da determinação da massa unitária da AN e RCD. 68
Tabela 11 – Absorção das amostras de RCD. 69
Tabela 12 - Absorção das amostras de Areia Natural. 69
Tabela 13 – Resultados do ensaio de aderência à tração na parede de blocos de concreto. 71
Tabela 14 - Resultados do ensaio de aderência à tração na placa de concreto. 72
Tabela 15 - Limites de resistência de aderência à tração (Ra) para revestimentos de argamassa de paredes. 72
Tabela 16 – Resultados do índice de consistência da argamassa com RCD. 73
Tabela 17 – Resultados dos rompimentos dos corpos de prova com RCD. 74
Tabela 18 - Resultados dos rompimentos dos corpos de prova com Areia Natural. 74
Tabela 19 – Resistência à compressão aos 28dias 75

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRAFTI Associação Brasileira dos Fabricantes de Tintas

ABRELPE Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

ABRECON Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição

AN Areia Natural

ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica

ASTM American Society for Testing and Materials

CHESF Companhia Hidrelétrica de São Francisco

CONAMA Conselho Nacional do Meio Ambiente.

FHWA Federal Highway Administration

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ISO Internation Organization for Standardization

NBR Norma Brasileira Regulamentadora

NM Norma Mercosul

PIB Produto Interno Bruto

PNRS Política Nacional de Resíduos Sólidos

PGRSU Plano Municipal De Gerenciamento Integrado De Resíduos Sólidos

RILEM Reunion Internationale des Laboratoires et Experts des Materiaux Systemes de Construction et Ouvrages

RCD Resíduos de Construção e Demolição

RCRA Resource Conservation and Recovering

RSU Resíduos Sólidos Urbanos

SEMMA Secretaria Municipal de Meio Ambiente

SGA Sistema de Gestão Ambiental

SISNAMA Sistema Nacional do Meio Ambiente

UHE Usina Hidrelétrica

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 1

2 OBJETIVOS 3

2.1 OBJETIVOS GERAIS 3

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 3

3 IMPORTÂNCIA E JUSTIFICATIVA DO TEMA 3

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 5

4.1 CONSTRUÇÃO CIVIL NO BRASIL 5

4.2 RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD) 7

4.2.1 Definição 7

4.2.2 Histórico 7

4.2.3 Geração e Coleta de RCD 8

4.2.4 Composição do RCD 11

4.2.5 Reciclagem de RCD 12

4.2.6 Responsabilidade ambiental 14

4.2.7 Aplicabilidade de RCD 15

4.3 ARGAMASSA DE REVESTIMENTO 16

4.3.1 Composição das Argamassas 18

4.3.1.1 Agregado 18

4.3.1.2 Cimento 20

4.3.2 Propriedade das Argamassas 20

4.3.2.1 Propriedades no Estado Fresco 20

4.3.2.2 Propriedades no Estado Endurecido 22

4.3.2.3 Fatores que Afetam as Propriedades das Argamassas 25

4.3.3 Normas Técnicas Aplicáveis à Argamassas de Revestimento 27

4.4 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL 28

4.4.1 ABNT NBR 10004:2004 29

4.4.2 Resolução CONAMA nº 307/2002 30

4.4.3 Política Nacional de Resíduos Sólidos 32

4.4.4 Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos de Tucuruí 34

5 ÁREA DE ESTUDO 35

5.1 MUNICÍPIO DE TUCURUÍ 35

5.2 USINA HIDRELÉTRICA DE TUCURUÍ 38

5.2.1 Geração de Resíduo de Construção e Demolição 39

5.2.1.1 Serviços de Manutenção da UHE Tucuruí 39

5.2.1.2 Construção/Reformas nas residências da Vila Permanente 40

6 MATERIAIS E MÉTODOS 43

6.1 MATERIAIS 43

6.1.1 Cimento 43

6.1.2 Areia Natural 43

6.1.3 Água 43

6.1.4 Agregado miúdo reciclado 44

6.2 MÉTODOS 44

6.2.1 Procedimentos Iniciais 46

6.2.1.1 Coleta de RCD 46

6.2.1.2 Trituração do Resíduo 47

6.2.1.3 Seleção das amostras 48

6.2.2 Procedimentos Intermediários 48

6.2.2.1 Ensaio de Determinação da Composição Granulométrica 49

6.2.2.2 Ensaio de determinação da Massa Específica 50

6.2.2.3 Ensaio de Determinação da Massa Unitária 52

6.2.2.4 Ensaio de Absorção 52

6.2.3 Procedimentos Finais 53

6.2.3.1 Dosagem e Preparação da Argamassa 53

6.2.3.2 Ensaio de Aderência 54

6.2.3.3 Índice de Consistência 58

6.2.3.4 Ensaio de Resistência à Compressão 59

6.2.3.5 Microscopia Eletrônica de Varredura 62

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES 64

7.1 ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA 64

7.2 ENSAIO DE MASSA ESPECÍFICA 67

7.3 ENSAIO DE MASSA UNITÁRIA 68
7.4 ENSAIO DE ABSORÇÃO 69
7.5 ENSAIO DE ADERÊNCIA 70
7.6 ENSAIO DE CONSISTÊNCIA 73
7.7 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO 73
7.8 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA 75

8 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 79

8.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS 79
8.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 81
8.3 LIMITAÇÕES DURANTE A PESQUISA 81

9 REFERÊNCIAS 82

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, percebe-se que os resíduos sólidos urbanos (RSU) constituem-se numa problemática ampla e generalizada em todo o mundo. Neste aspecto, o cenário desencadeado pelo processo de industrialização e ocupação urbana, é caracterizado pelo grande volume de resíduos gerados diariamente nas cidades, sem a preocupação com a destinação correta e tratamento adequado para os mesmos.

É indiscutível que a indústria da construção civil se destaca como um setor produtivo, que possui significante papel na economia do Brasil. Todavia, assim como os fatores positivos, este setor se destaca como uma das atividades geradoras de elevada quantidade de resíduos de diversas naturezas, sendo responsável também pelo consumo excessivo de recursos naturais, provenientes de fontes não renováveis.

A falta de gerenciamento desses resíduos acarreta em vários problemas em âmbito econômico, social e ambiental. Desta forma, vale ressaltar que o Brasil não havia implantado legislação específica até meados de 2002, para os resíduos gerados pelo setor da construção civil. Em julho de 2002 entrou em vigor a Resolução nº 307 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), a qual estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, visando proporcionar benefícios de ordem social, econômica e ambiental.

Portanto, com a introdução da legislação de resíduos na forma de regulamentos e diretrizes orientadoras em muitas partes do mundo, um movimento significativo para a gestão sustentável do resíduo de construção e demolição (RCD), torna-se uma exigência legal.

No cenário socioeconômico, os resultados do déficit habitacional do país apurados pelo Ministério das Cidades (MCidades), em parceria com a Fundação João Pinheiro, correspondia, em 2012, a um déficit de 5,792 milhões de domicílios, equivalendo a 9,1% de déficit relativo. Destacando que os maiores resultados do déficit relativo concentram-se na região Norte com 12,5%.

Estes dados mostram o grave problema social de milhões de pessoas, sendo que o privilégio de acesso à moradia é tarefa fundamental para se atingir uma sociedade mais justa e pluralista. A mudança deste cenário inclui a exigência da busca por materiais e técnicas construtivas mais eficientes, capazes de criar espaços habitacionais mais baratos com garantia de qualidade e durabilidade (JADOVSKI, 2005).

Por conseguinte, verifica-se a importante tarefa de reduzir os impactos ambientais gerados pela indústria da construção civil. Neste aspecto, deve-se estabelecer a sustentabilidade no desenvolvimento da atividade de construção, sendo o reaproveitamento e reciclagem de RCD uma solução a ser aplicada neste processo.

Lima (1999) destaca que 90% dos resíduos gerados pelas obras no Brasil são passíveis de reciclagem. Porém, para o emprego de agregados reciclados em concretos e argamassas é necessário conhecê-los completamente, incluindo as implicações de seu emprego no estado fresco, no estado endurecido e na durabilidade do material.

Neste sentido, o objetivo principal desta pesquisa é a substituição de 100% do agregado natural por agregado proveniente de RCD na produção de argamassa de revestimento. Considerando que este sistema é amplamente utilizado nas edificações, tanto interno quanto externamente. A viabilidade da utilização de RCD neste processo se consolida, uma vez que essas aplicações não estão sujeitas a exigências estruturais.

A motivação para o desenvolvimento deste estudo está relacionada com a relevância do mesmo para as pesquisadoras, bem como para a sociedade, considerando a pertinência e atualidade do tema, atendendo assim os propósitos acadêmicos e profissionais. Evidenciando, neste sentido ser um assunto em expansão, que por sua vez demonstra a busca pela sustentabilidade na construção. Esta tendência foi observada, inclusive em pesquisas e trabalhos científicos abordados em alguns congressos, que as pesquisadoras tiveram a oportunidade de participar.

A seleção da área de estudo baseou-se na preocupação com a sustentabilidade adotada pela empresa Eletrobras/Eletronorte, sendo que os resíduos de construção e demolição - (RCD), provenientes da Usina Hidrelétrica de Tucuruí (UHE-Tucuruí), são acondicionados e armazenados de acordo com a Resolução do CONAMA n° 307/2002 e seguindo as determinações para a obtenção da ABNT NBR ISO 14001.

A estrutura deste trabalho aborda inicialmente o contexto no qual esta pesquisa está inserida, sendo apresentados os aspectos gerais, objetivos e justificativa para a abordagem do tema em questão. Na revisão bibliográfica são expostos importantes conceitos para a compreensão da pesquisa executada pelas autoras.

CA metodologia adotada subdivide-se em três etapas, descrevendo os procedimentos desde a coleta e trituração do RCD, para a obtenção do agregado reciclado, e caracterização dos mesmos, até a fase de produção da argamassa e execução dos ensaios pertinentes, sendo verificadas as propriedades da argamassa confeccionada com estes agregados, considerando seu estado fresco e endurecido.

A partir destes ensaios, foram realizadas as análises dos resultados encontrados, obtendo assim, algumas conclusões pertinentes a esta pesquisa, bem como, sugestões para trabalhos futuros.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Realizar análise da viabilidade técnica para fabricação de argamassas de revestimento com substituição total do agregado natural por agregados provenientes de Resíduo de Construção e Demolição (RCD).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar o agregado miúdo reciclado proveniente de serviços de construção e demolição da UHE Tucuruí;

- Confeccionar argamassas para aplicação como revestimentos, utilizando um traço pré-determinado de 1:5 (cimento:agregado) e atendendo os requisitos gerais estabelecidos pela ABNT NBR 13281:2005;

- Propor uma metodologia prática para a utilização do agregado miúdo de RCD, visando facilitar sua utilização em obras.

- Comprovar que o material proveniente de demolições e reformas, dos serviços da UHE Tucuruí, seja viável na substituição total da Areia Natural, na produção de argamassas de revestimento.

3 IMPORTÂNCIA E JUSTIFICATIVA DO TEMA

A escolha do tema baseia-se no constante aumento das obras de construção civil em todo o país, caracterizando a realidade do município de Tucuruí. Neste aspecto, destaca-se a importância do consumo racional de recursos naturais e a geração de resíduos inertes a esta atividade.

Algumas características singulares na geração e destinação de RCD norteiam a necessidade de pesquisa em âmbito regional deste assunto. Dentre essas características tem-se o desenvolvimento da indústria da construção local, bem como da localização geográfica, perfil das atividades econômicas, tipo e fase da obra, técnicas construtivas empregadas, entre outras. Assim, são necessários estudos específicos devido a grande variabilidade do RCD produzido em cada região, com a finalidade de obter uma utilização segura do agregado reciclado.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) Lei nº 12.305/2010, prevê a destinação ambientalmente adequada para os resíduos gerados. Esta necessidade de eliminar a nociva deposição tem definido o caráter de emergência em face aos transtornos procedentes desta atividade. Sabendo que os resíduos gerados pela construção civil ocasionam poluição ambiental, interferência nos custos, e necessidades de locais apropriados para destino final, verifica-se a importância da reciclagem de RCD.

O mercado da construção civil se destaca como uma alternativa para consumir materiais reciclados. Neste aspecto, a reutilização para fabricação de argamassa abrange a adoção de materiais alternativos e possibilita redução de custos e de impactos ambientais da atividade.

Desta forma, vale ressaltar a importância da universidade enquanto geradora de conhecimento e atendimento às demandas sociais locais, inclusive com relação à busca de alternativas para construções sustentáveis, sentido em que se insere a investigação da viabilidade técnica do uso de agregado reciclado, em função da problemática de RCD no Município de Tucuruí.

A presente pesquisa propõe-se ao aproveitamento do agregado reciclado, como material alternativo, para a aplicação na construção de novas habitações com o intuito de minimizar o uso indiscriminado de recursos naturais e a disposição irregular destes resíduos. A consolidação de tal prática poderia possibilitar a ascensão significativa da redução do impacto ambiental e consumo de energia, na cadeia produtiva dos subprodutos da construção civil.

Destaca-se a abrangência da aplicação dos resultados desta pesquisa, considerando o raio de alcance que os resíduos beneficiados podem atingir. Este estudo buscou contribuir para a avaliação das propriedades físicas e mecânicas, que possam subsidiar na identificação de requisitos técnicos, para que o agregado proveniente RCD possa ser aproveitado em maior escala, de forma cada vez mais racional e adequada para a construção civil.

Diante do exposto, tem-se a seguinte questão da pesquisa: **A produção de argamassas para revestimento, atendendo às exigências normativas da ABNT, pode ser realizada a partir da substituição total do agregado miúdo natural por agregado proveniente de RCD?**

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 CONSTRUÇÃO CIVIL NO BRASIL

Talvez o mais antigo documento produzido no Brasil e que retrate de uma forma mais técnica sobre as práticas construtivas da época, seja um manuscrito de 1684, que foi nomeado "Declarações de obras" de Frei Bernardo de São Bento, um beneditino que foi responsável por uma importante reforma no mosteiro da ordem situado no Rio de Janeiro. Trata-se de um documento em que o arquiteto, que segundo o mesmo teve sua formação totalmente autodidata, descreve não apenas processos técnicos empregados na obra como também as dificuldades encontradas durante a execução e como estas foram superadas. O documento é o que pode ser denominado hoje como um "Diário de obras" (RIBEIRO, 2011).

Desde então, a indústria da construção civil vem sendo utilizada como importante fator de desenvolvimento. Além de impulsionar o crescente desenvolvimento do país, tem criado inúmeras oportunidades de emprego, influenciando diretamente o desenvolvimento social, uma vez que este setor disponibiliza ao cidadão, durante suas inúmeras etapas de trabalho, oportunidade de emprego e habitação (SILVA, 2009).

O Gráfico 1 apresenta como a construção civil tem, nos últimos anos, contribuído para a economia em nosso país. E como pode ser observado pelos índices do produto interno bruto da construção civil, a sua variação influi diretamente no panorama nacional, demonstrando assim sua importância para o desenvolvimento do país.

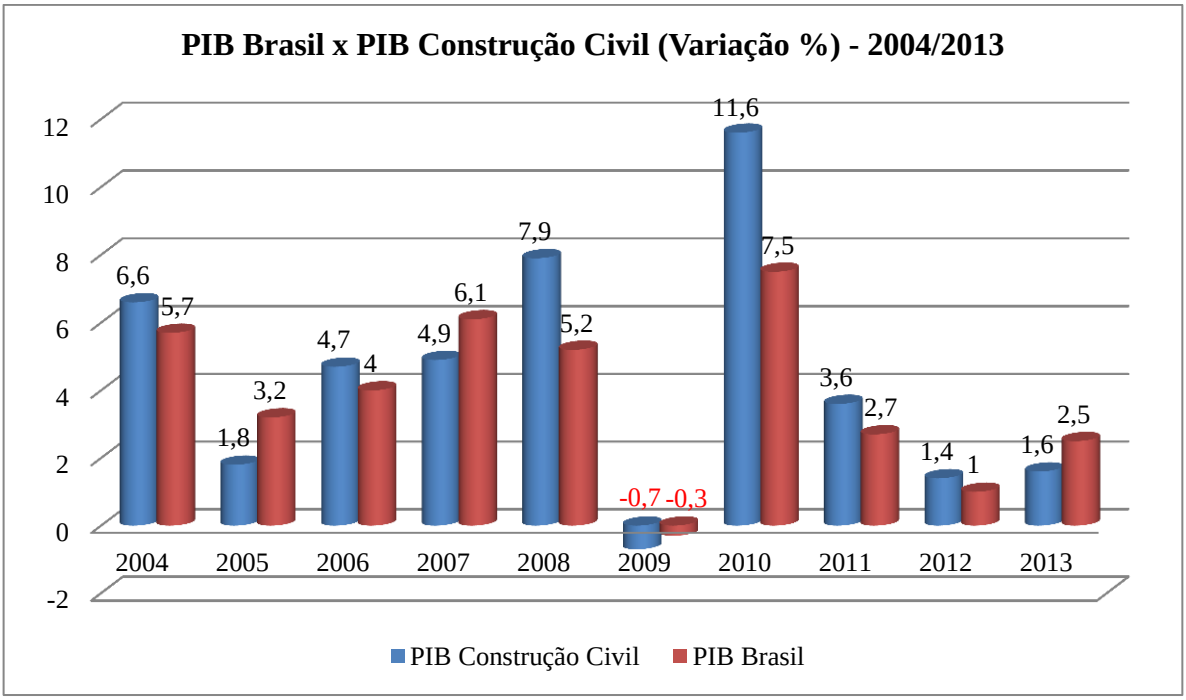


Gráfico 1 – PIB Brasil x PIB Construção Civil – 2004/2013.

Fonte: CBIC (2014).

A queda drástica do PIB em 2009, observado através do Gráfico 1, é representada como uma consequência dos efeitos da crise mundial neste período. Os dados disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2011, destacam a queda dos investimentos como o principal fator responsável por este cenário.

A crise iniciada em 2008 teve efeitos na construção civil brasileira, por meio da redução do crédito privado para esse setor. Esta situação se modificou em 2010, com aumento significativo deste índice, sendo resultado de um conjunto de fatores tais como, o aumento do crédito, queda nas taxas de juros, obras públicas - as de infraestrutura dentro do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC); habitação, com o Programa Minha Casa, Minha Vida; e a redução de impostos (IBGE, 2011).

Diante de tal magnitude, a construção civil no Brasil representa uma grandiosa indústria que, como tal, também gera problemas igualmente amplos. O desperdício está intensamente impregnado na cultura dos brasileiros e pode-se identificar tal fato com facilidade, quando observado o despropositado volume de lixo que é recolhido todos os dias em cidades brasileiras (OLIVEIRA; BRUNHARA, 2006).

4.2 RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)

4.2.1 Definição

Na bibliografia consultada existem inúmeras definições para RCD, no entanto, neste trabalho serão destacadas as definições apresentada pela Resolução CONAMA Nº 307/2002, assim como a adotada pela PNRS, considerando a especificidade e peculiaridade tendo força de lei.

A Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) definiu o termo resíduo de construção civil, em seu Artigo 13, como sendo "os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civis incluídas os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis".

A Resolução CONAMA n° 307/2002 por sua vez define os resíduos da construção civil como sendo os 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.

4.2.2 Histórico

Apesar de ser considerado um assunto contemporâneo, a prática da reciclagem de resíduos da construção, apresenta registros desde a antiguidade. Esse exercício já era praticado desde o Império Romano e Grécia Antiga. Santos (1975, *apud* LIMA, 1999), destacam-se relatos da utilização de restos de telhas, tijolos e utensílios de cerâmica como agregado graúdo para produção de concretos rudimentares.

Pode-se afirmar que as grandes catástrofes do século vigente são apontadas como fator propulsor da prática da reciclagem. A referência inicial deve-se a utilização de resíduos de RCD registrada após o fim da Segunda Guerra Mundial, em um cenário das cidades cobertas de escombros e a necessidade da reconstrução destas cidades. De acordo com De Paw e Lauritzen (1994, *apud* LIMA, 1999), foram reciclados aproximadamente 115 milhões

de m^3 de resíduos de construção e demolição na Alemanha, os quais foram utilizados na construção de aproximadamente 175 mil unidades habitacionais.

Considerando principalmente as razões ambientais e econômicas, vários países vêm adotando a reciclagem nas últimas décadas. A prática adotada é normalmente aplicada por empresas particulares ou públicas. Segundo John (2000) os resultados obtidos pela Holanda merecem destaque por compreenderem cerca de 90% de aproveitamento do entulho.

Em relação à aplicação deste processo, é importante destacar que há variação de acordo com o país. Isto se deve as características particulares dos mesmos, como ofertas de materiais de construção e resíduos, disponibilidade de locais para deposição e o rigor das normas relativas a materiais a serem utilizados na construção.

No Brasil, o cenário apresenta uma relativa timidez neste aspecto. Miranda *et al* (2009) afirma que as primeiras pesquisas utilizando agregados reciclados de resíduos de construção civil (RCD) foram realizadas por Pinto (1986) e Levy (1997) em argamassas, Bodi (1997) em pavimentos, e Zordan (1997) em concretos.

A reciclagem dos RCD teve início efetivo em 1991, em Belo Horizonte. Atualmente já existem algumas estações de tratamento e reciclagem do material espalhados em alguns estados do Brasil (PEDROZO, 2008). Percebe-se o desencadeamento de alguns estudos em desenvolvimento em universidades nacionais com a finalidade de obter um melhor entendimento para aprimoramento de técnicas para utilização do material.

4.2.3 Geração e Coleta de RCD

Apesar da crescente preocupação a nível mundial sobre a importância da gestão de resíduos da construção, a geração dos mesmos não tem sido na maioria das vezes, levada em consideração criteriosamente durante as etapas de criação de processos, projetos e produtos.

Percebe-se, predominantemente que projetos padrões consideram aspectos como desempenho, segurança, estética e lucratividade, características requeridas e convenientes ao usuário. Porém, não há prioridade no estudo e gerenciamento do resíduo produzido quando o produto atingir o fim de sua vida útil. Desta maneira, tem-se a transferência do problema para o futuro, criando a filosofia de tentar resolver o problema depois que ele é criado.

Considerando uma produção média anual de RCD de 500 kg/hab relatada por Pinto (1999), a previsão estabelecida pela pesquisa da Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (ABRECON) em 2013, considerou os dados do IBGE (2013), em que aponta que o país possui 201.032.000 de habitantes e que a massa

unitária do RCD é de 1200 kg/m³. Com base nestes dados, a estimativa de geração de RCD é de aproximadamente 83.763.333 m³/ano.

A Construção Civil precisa rever a geração de resíduos em seus diversos processos e etapas construtivas. Chung e Lo (2007, *apud* MAIA e GAIA, 2012) afirmam que estes resíduos representam aproximadamente 50% do fluxo de resíduos sólidos gerados pelas cidades dos países desenvolvidos, destacando que muitas vezes este valor pode superar 60% do total de resíduos produzidos. As pesquisas de Pinto (1999) revelaram que nas cidades brasileiras de médio e grande porte, os resíduos de construção e demolição representam cerca de 40 a 70% da quantidade total dos resíduos sólidos urbanos.

Chega-se a afirmar que com a quantidade de materiais e mão de obra desperdiçados em três obras, é suficiente para a construção de outra idêntica, ou seja, o desperdício durante a construção atingiria um índice de 33% (GROHMANN, 1998).

Os dados disponibilizados pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE, demonstram que em 2012 os municípios brasileiros coletaram mais de 35 milhões de toneladas de RCD. Aborda-se neste estudo a necessidade de uma maior exigência e atenção quanto ao destino final dos RCD, uma vez que a quantidade total desses resíduos é ainda maior, considerando que são coletados pelos municípios, geralmente, apenas os resíduos de obra sob sua responsabilidade e os lançados nos logradouros públicos.

Estes dados demonstram um crescimento significativo no país em relação a geração de resíduos de construção e demolição. O volume de resíduos coletados pelos municípios aumentou 5,3% no intervalo compreendido entre 2011 e 2012. O Gráfico 2 apresenta dados da coleta de RCD neste intervalo para as regiões do país. Esse aumento se torna mais preocupante considerando que o panorama contabiliza apenas os resíduos sob coordenação das municipalidades.

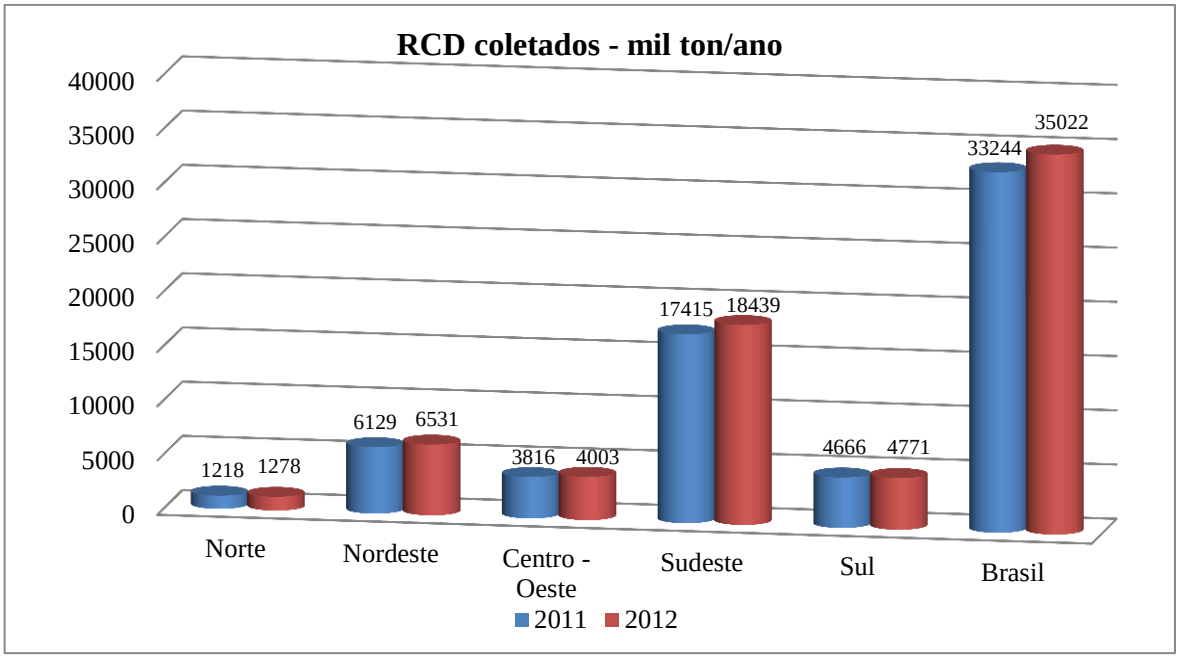


Gráfico 2 – Total de RCD coletado – Regiões e Brasil.

Fonte: ABRELPE, 2012.

O estudo da ABRELPE (2012) apresentam a quantidade de RCD coletados diariamente no Brasil, em 2011 e 2012 como se pode verificar na Tabela 1. Considerando a população do país, sendo obtido assim o índice em Kg/hab./dia.

Tabela 1- Quantidade de RCD coletado pelos municípios no Brasil.

	2011	2012		
	RCD coletado (t/dia) / Índice (Kg/hab./dia)	População Urbana (hab.)	RCD Coletado (t/dia)	Índice (Kg/hab./dia)
BRASIL	106.549 / 0,656	163.713.417	112.248	0,686

Fonte: ABRELPE, 2012.

Os dados apresentados na Tabela 2 mostram que a região Norte gerou a quantidade de 4.095 toneladas/dia de RCD no ano de 2012, sendo este valor 4,7 % maior que o de 2011.

Tabela 2 - Coleta de RCD na região Norte.

REGIÃO NORTE	2011	2012		
	RCD coletado (t/dia) / Índice (Kg/hab./dia)	População Urbana (hab.)	RCD Coletado (t/dia)	Índice (Kg/hab./dia)
Total	3.903 / 0,330	12.010.233	4.095	0,341

Fonte: ABRELPE, 2012.

Comparando os valores das Tabelas 1 e 2 tem-se que, os valores resultantes da coleta na região norte em (t/dia) representa a parcela de 3,7 % em relação à quantidade total de RCD coletados diariamente no Brasil.

O problema do grande impacto relacionado à demasiada geração de RCD, refere-se à destinação inadequada que se faz na maioria dos municípios brasileiros. Em muitos destes predomina a disposição final dos resíduos em áreas irregulares, conhecidas como bota-foras. Além do esgotamento da paisagem natural e ambiental, têm-se como consequência: contaminação de mananciais, prejuízos na drenagem superficial do solo, assoreamento dos rios e igarapés, dentre outros.

Desta forma, vale ressaltar que a redução do expressivo impacto ambiental gerado pela indústria da construção civil caracteriza um processo necessário uma vez que apresenta vantagens potenciais credenciando a ser uma grande recicladora.

4.2.4 Composição do RCD

De acordo com Zordan (1997) os RCD, sejam, talvez, os mais heterogêneos de todos os resíduos industriais, considerando que estes são produzidos num setor que envolve uma grande variedade de técnicas, métodos e materiais. A composição do RCD também é variável em função da região geográfica, da época do ano, do tipo de obra, dentre outros fatores.

O Gráfico 3 apresenta uma caracterização dos materiais presentes nos RCD em obras no Brasil, destacado por Fernandez (2011).

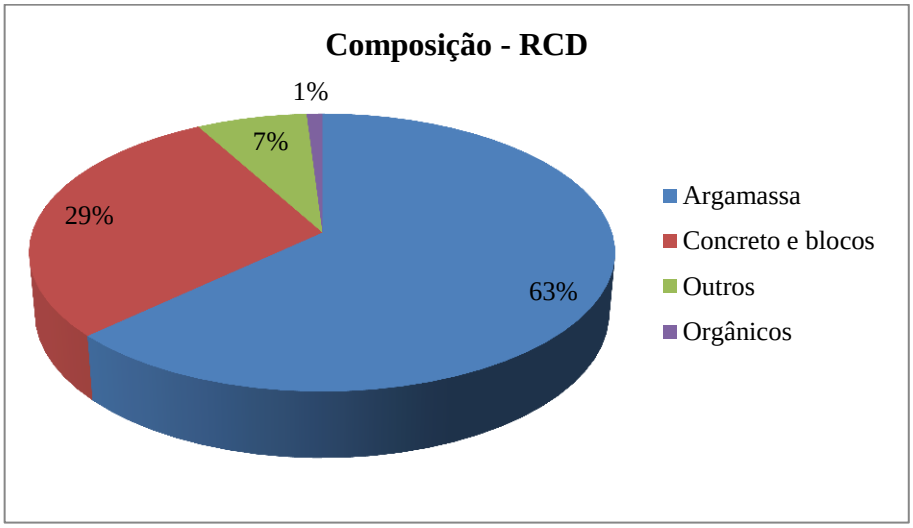


Gráfico 3 – Composição média dos materiais de RCD de obras no Brasil.

Fonte: Adaptado de FERNANDEZ, 2011.

No Gráfico 3, é possível verificar a variação das porcentagens de material, encontrados nos resíduos de construção civil em obras no Brasil. Nestes resultados é visível a predominância de argamassas, principalmente por ser um material empregado largamente nas construções. Os resíduos de concreto e blocos (cerâmicos e concreto) apresentam, também, elevados índices, o que justifica a necessidade de pesquisas para o reaproveitamento deste material.

É importante ressaltar ainda, a classificação ou conhecimento da fonte geradora desse entulho e ainda, o porte da obra sem deixar de mencionar a tipologia da construção (industrial, residencial, comercial etc.). Em suas análises do mercado brasileiro, o SINDUSCON SP obteve o levantamento da composição da fonte geradora, conforme mostrado no Gráfico 4.

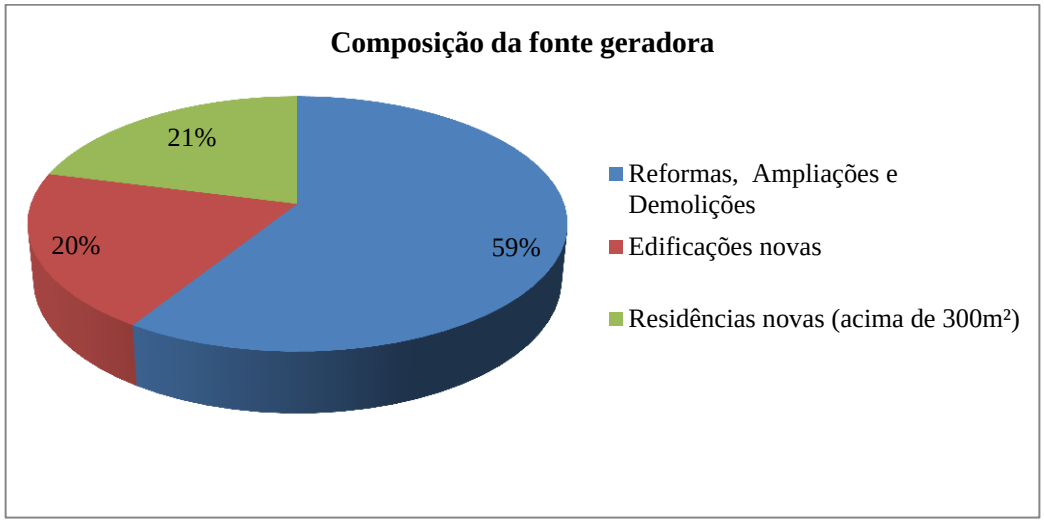


Gráfico 4 – Composição da Fonte Geradora do RDC no Brasil.

Fonte: SINDUSCON/SP, 2005.

De acordo com o Gráfico 4, os serviços de reforma, ampliação e demolição são as fontes geradoras predominantes, representando 59% dos dados obtidos. Considerando que, cada uma dessas atividades, ao empregar procedimentos técnicos específicos, produz diferentes quantidades e tipos de RCD.

4.2.5 Reciclagem de RCD

O processo de reciclagem é o resultado de uma série de atividades desenvolvidas na construção civil, no qual os materiais se tornam resíduo, então, são coletados, separados e processados para serem usados como matéria-prima na manufatura de bens, feitos anteriormente apenas com matéria-prima virgem (JARDIM, 1995 *apud* SOUZA, 2001).

Segundo a Resolução CONAMA nº 307/2002 a reutilização corresponde ao processo de reaplicação de um resíduo, sem transformação do mesmo, enquanto a reciclagem se caracteriza pelo processo de reaproveitamento, após este ter sido submetido a um processo de beneficiamento.

Para corroborar a sua prática, o art. 4º da resolução supracitada informa claramente que os geradores devem ter como objetivo prioritário a não geração de resíduos e, secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem e a destinação final dos RCD, termos integrantes do Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil.

A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil, apesar de ser uma oportunidade sustentável, ainda se encontra em um estágio de sensibilização e implantação com relativos avanços. Atualmente já existem diversos trabalhos desenvolvidos e ainda em desenvolvimento por grupos de pesquisadores em universidades no Brasil, estes abordam estudos consistentes sobre os aspectos de geração, manipulação, coleta, transporte e gestão, bem como as tecnologias para a reciclagem.

O panorama do setor de reciclagem de RCD no Brasil foi destaque na pesquisa desenvolvida pela ABRECON. Esta foi desenvolvida entre março e setembro de 2013 abrangendo 112 empresas atuantes na reciclagem, aterro de inertes e áreas de transbordo e triagem.

A pesquisa setorial desenvolvida pela ABRECON que analisou dados de 2008 a 2013 mostra um grande aumento, com uma taxa de 10,6 usinas novas por ano. Com base nos dados levantados e considerando as 310 usinas no país, foi realizado uma estimativa do percentual de RCD reciclado no Brasil sendo considerado tanto a produção atual, assim como a produção em sua capacidade máxima, conforme destacado na Tabela 3.

Tabela 3 - Estimativa de porcentagem de RCD reciclado no país.

	Produção atual	Capacidade máxima de produção
Para 96 usinas	6%	13%
Proporcional para 310 usinas	19%	42%

Fonte: adaptado de ABRECON, 2013.

O levantamento da ABRECON destacou também que a maioria das usinas existentes no país é privada e de pequeno porte. O estudo ressalta como resultados negativos observados a falta de apoio do setor público, em relação ao consumo de materiais reciclados, na fiscalização da triagem e destinação do RCD, assim como na tributação aplicada ao setor.

Um dos resultados surpreendentes na pesquisa ABRECON refere-se ao fato de que a maioria das empresas participantes da pesquisa pretende promover a ampliação do negócio nos próximos anos, até 2015. Esta previsão promissora foi associada dentre outros fatores, a atual situação econômica favorável do país, estimulados pelas obras de infraestrutura e da construção civil e o aumento da importância e relevância da sustentabilidade neste setor.

4.2.6 Responsabilidade ambiental

Devido ao crescimento urbano incessante, o resíduo gerado pelas atividades de construção e demolição vem gradativamente aumentando. A reciclagem e a utilização do resíduo resultante como material alternativo aparecem como opções cada vez mais viáveis para minimizar os problemas causados pelo descarte do mesmo.

Os materiais descartados pelas obras de construção, podem se apresentar, como verdadeiras jazidas de matérias-primas. Esse material não é aproveitado, o que resulta em grandes prejuízos à qualidade de vida dos habitantes dos centros urbanos, criando uma imagem negativa para as administrações públicas. A reciclagem dos entulhos de construção civil pode ser ainda uma alternativa interessante para os municípios que sofrem com as transformações urbanas e que se deparam com problemas de gerenciamento destes resíduos.

Segundo Zordan (1999), a busca por soluções práticas que visem a reutilização do entulho na própria construção civil, contribui para amenizar o problema urbano dos depósitos clandestinos deste material, propiciando melhorias do ponto de vista ambiental, além de introduzir no mercado um novo material com grande potencialidade de uso.

A adoção de uma política de incentivo para o reaproveitamento dos minerais descartados pelas obras civis reduzirá a quantidade de minerais extraídos das jazidas e, consequentemente, haverá uma redução no impacto ambiental pelo reuso e reciclagem do entulho.

Os impactos da extração da areia no meio ambiente são de grande magnitude para o ambiente aquático e ribeirinho e, muitas vezes, são irreversíveis. Na exploração em leito de rio ou em cava submersa na área da várzea, um dos principais danos é a retirada de cobertura

vegetal, especialmente as matas ciliares, causando erosão, assoreamento, alteração paisagística e a poluição das águas (PATTO, 2006).

Além disso, sabe-se que a camada de areia funciona como filtro físico e biológico para as águas subterrâneas e que, portanto, sua retirada representa a diminuição destas importantes funções do ecossistema local.

Segundo Patto (2006) essa exploração de jazidas de areia ou de pedra para utilização na construção civil causou um impacto ambiental que, até hoje, ainda não foi devidamente mensurado. Nos últimos anos, no entanto, esse tipo de exploração vem se tornando cada vez mais raro devido às dificuldades impostas pelos órgãos responsáveis por sua regulamentação.

O tratamento do entulho da construção civil, enquanto resíduo sólido urbano, pode visar à recuperação da qualidade do meio ambiente e gerar material a baixo custo, a partir de sua reciclagem, permitindo a substituição dos materiais convencionalmente empregados na construção civil e a redução da geração de resíduos.

4.2.7 Aplicabilidade de RCD

De acordo com as recentes pesquisas, a reciclagem de RCD pode ser aplicada para diversas finalidades, tais como: camadas de base e sub-base para pavimentação, coberturas primárias de vias, fabricação de argamassas de assentamento e revestimento, fabricação de concretos, fabricação de pré-moldados (blocos, meio-fio, dentre outros), camadas drenantes e etc.

Siqueira (2006) realizou um estudo a respeito da utilização de RCD como material para camadas de pavimentação, obtendo resultados extremamente favoráveis, analisando-se duas amostras de obras distintas na cidade de Recife-PE. O autor encontrou valores de CBR (índice de suporte do solo) de 33,71% e de 24,18%, os quais estão de acordo com a norma ABNT NBR 15116:2004 que aborda os agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil com a utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural.

Os autores Levy e Helene (1997) analisaram as vantagens advindas do grau de pozolanicidade presente em argamassas produzidas com RCD, com adição de cerca de 2,5 vezes na resistência à compressão e redução de 30% no consumo de cimento quando relacionados aos resultados que podem ser encontrados em outras literaturas para argamassas mistas análogas.

Sobre a aplicação em concretos, os autores Carrijo e Figueiredo (2005), em sua análise de desempenho mecânico de concretos moldados com RCD, concluíram que independente das amostras ensaiadas (à base de cimento ou materiais com predominância de cerâmica vermelha), os resultados encontrados indicaram que a classificação dos agregados pela densidade pode ser mais confiável que a classificação pela natureza mineral, pois as resistências encontradas nos concretos variaram em função das diferentes faixas de densidade.

Santos (2007), em sua pesquisa a respeito da utilização de RCD em estruturas de solo reforçado, verificou que esse material apresentou resultados superiores aos obtidos pelo material recomendado pelo *Federal Highway Administration* (FHWA), órgão que fiscaliza a construção, manutenção e conservação de estradas, pontes e túneis, no que se refere a obras públicas nos Estados Unidos da América.

Bernardo (2013) avaliou a possibilidade da fabricação de tijolos ecológico de vedação, sem função estrutural, produzidos com 100% de RCD. Sendo que seus resultados apresentados atenderam na sua totalidade os requisitos exigidos como qualidade pelas normas em vigor, favorecendo o aproveitamento máximo deste resíduo na produção de tijolos ecológicos.

4.3 ARGAMASSA DE REVESTIMENTO

Argamassas são materiais de construção, com propriedades de aderência e endurecimento, obtidos a partir da mistura homogênea de um ou mais aglomerantes, agregado miúdo (areia) e água, podendo conter ainda aditivos e adições minerais. São materiais empregados largamente na construção civil, sendo que as suas principais utilizações são para o assentamento de alvenarias e nas etapas de revestimento (CARASEK, 2010).

Os revestimentos à base de argamassa são compostos, basicamente, pelas camadas de chapisco, emboço e reboco ou pelos revestimentos em camada única (cumprindo as funções de emboço e reboco). Observe na Figura 1 as camadas constituintes do revestimento argamassado.

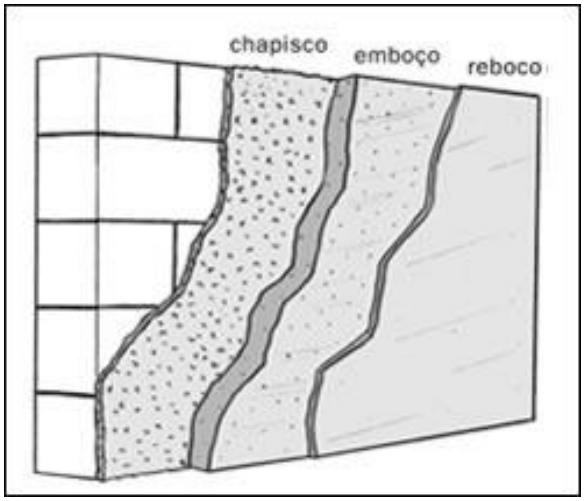


Figura 1 – Camadas de Revestimento de uma parede.
Fonte: Comunidade da Construção (2013).

Carasek (2010) define chapisco como a camada de preparo da base, aplicada de forma contínua ou descontínua, com a finalidade de uniformizar a superfície quanto à absorção e melhorar a aderência do revestimento. O chapisco é uma argamassa de cimento e areia média ou grossa sem peneirar, utilizando usualmente, um traço de 1:3.

Emboço é a camada de revestimento executada para cobrir e regularizar a base, propiciando uma superfície que permita receber outra camada, de reboco ou de revestimento decorativo (por exemplo, cerâmica). Para este material pode-se tomar como referência os seguintes traços em volume de cimento, cal hidratada e areia: 1:1:6 a 1:2:9.

O reboco é a última camada dos revestimentos constituídos por múltiplas camadas, servindo como acabamento dos revestimentos de argamassa. Como esta camada confere a textura final aos revestimentos de múltiplas camadas, ela não deve apresentar fissuras, principalmente em situações de aplicação externa. Portanto, a argamassa constituinte desta camada deve apresentar alta capacidade de absorver deformações. O reboco é constituído, mais comumente, de argamassa de cal e areia no traço 1:2, ou cimento e areia fina no traço 1:4.

A camada única também consiste em um revestimento de um único tipo de argamassa aplicado à base, sobre o qual é aplicada uma camada decorativa, como, por exemplo, a pintura. Também chamado popularmente de “massa única” ou “reboco paulista” é atualmente a alternativa mais empregada no Brasil. O traço utilizado para essa argamassa é 1:5.

Segundo Carasek (2010) as principais funções de um revestimento de argamassa de parede são:

- Proteger a alvenaria e a estrutura contra a ação do intemperismo, no caso dos revestimentos externos;
- Integrar o sistema de vedação dos edifícios, contribuindo com diversas funções, tais como: isolamento térmico, isolamento acústico, estanqueidade à água, segurança ao fogo e resistência ao desgaste e abalos superficiais;
- Regularizar a superfície dos elementos de vedação e servir como base para acabamentos decorativos, contribuindo para a estética da edificação.

Tendo em vista as funções que foram citadas acima, algumas propriedades tornam-se essenciais para essas argamassas, tais como: Trabalhabilidade; Consistência e Plasticidade; Retenção de água; Adesão inicial; Resistência mecânica, principalmente a superficial; Aderência e Expansão.

4.3.1 Composição das Argamassas

4.3.1.1 Agregado

A norma ABNT NBR 9935:2011, que determina a terminologia dos agregados, define este termo como material sem forma ou volume definido, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para produção de argamassas e de concreto.

Os agregados podem ser classificados quanto à origem, dimensão dos grãos e massa especifica. Quanto à origem podem ser naturais: encontrados na natureza na forma definitiva de utilização, passando apenas por processos de lavagem e separação granulométrica; artificiais: obtidos pelo britamento de rochas como o pedrisco e pedra britada; e industrializados: obtidos por meio de processos industriais como a argila expandida e a escória de alto-forno.

De acordo com a norma ASTM C125 - *Standard Definition of Terms Relating to Concrete and Concrete Aggregates* – (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2014) agregado é um material granular, como areia, pedregulho, pedrisco, rocha britada, resíduos de construção e demolição, que é usado com um meio cimentício para produzir concreto ou argamassa. Com relação ao tamanho das partículas, esta norma classifica os agregados da seguinte maneira:

- Agregado graúdo: refere-se às partículas de agregado maiores que 4,75 mm;
- Agregado miúdo: partículas de agregados menores que 4,75 mm, porém maiores que 75µm.

Geralmente, o agregado empregado para argamassas de revestimento é a areia natural, constituída essencialmente de quartzo e extraída de leitos de rios e "cavas". De acordo com a classificação de Selmo (1989), o agregado miúdo que se encontra na zona utilizável inferior pode ser considerado como areia fina; aquele que se encontra na zona ótima é uma areia média e aquele que se encontra na zona utilizável superior é uma areia grossa.

O aumento da demanda na área de construção civil, e consequentemente de concreto, tem promovido um aumento no consumo das matérias primas o que ocasiona a diminuição das reservas naturais. A disponibilidade destes agregados naturais também está relacionada com as questões econômicas quanto ao custo do frete, assim como a energia necessária para a extração e o transporte.

Isaia (2011) destaca que as jazidas de agregados naturais estão cada vez mais distantes dos centros de consumo, interferindo implicitamente no custo final, no consumo de energia e poluição ambiental. Neste contexto, visando minimizar o impacto ambiental, diferentes materiais e resíduos têm sido utilizados como agregados em substituição aos naturais.

Apesar da reciclagem de RCD ser um negócio em desenvolvimento, há o obstáculo encontrado em relação ao controle da qualidade do material e sua origem. Neste aspecto cita-se: o custo da britagem, a graduação da granulometria e o controle de finos e de materiais indesejáveis. Em algumas situações o entulho gerado apresenta situações com significativo índice de contaminação, com isso inviabilizando o reaproveitamento deste material.

No entanto, a utilização destes materiais pode ser considerada alternativa viável na questão econômica, ambiental e funcional da obra, principalmente em regiões onde os agregados de qualidade são escassos, proporcionando também a redução de gastos com o transporte para destinação desses entulhos (MEHTA, MONTEIRO, 2008).

Quanto à restrição para a utilização deste resíduo, o controle da composição e das características dos agregados reciclados deve ser feito, dentre outras finalidades, para a obtenção do teor de absorção, uma vez que o agregado reciclado absorve mais água do que o natural (HAMASSAKI *et al*, 1996).

Percebe-se, então, que o reaproveitamento de agregados reciclados considerando a substituição total ou parcial dos agregados naturais deve ser realizado com estudos prévios para análise de suas características e potencialidades.

4.3.1.2 Cimento

O engenheiro John Smeaton, por volta de 1756, procurava um aglomerante que endurecesse mesmo em presença de água, de modo a facilitar o trabalho de reconstrução do farol de Edystone, na Inglaterra. Em suas tentativas, verificou que uma mistura calcinada de calcário e argila tornava-se, depois de seca, tão resistente quanto as pedras utilizadas nas construções. Entretanto, foi o pedreiro Joseph Aspdin, em 1824, quem patenteou a descoberta, batizando-a de cimento Portland, numa referência à Portlandstone, tipo de pedra arenosa muito usada em construções na região de Portland, Inglaterra. No pedido de patente constava que o calcário era moído com argila, em meio úmido, até se transformar em pó. A água era evaporada pela exposição ao sol ou por irradiação de calor através de cano com vapor. Os blocos da mistura seca eram calcinados em fornos e depois moídos bem finos (TAYLOR, 1967).

Usualmente utilizam-se para confecção de argamassas Cimento Portland CP II Z (com adição de material pozolânico) e o CP II F (com adição de material carbonático – filer).

4.3.2 Propriedade das Argamassas

4.3.2.1 Propriedades no Estado Fresco

a) Trabalhabilidade

Para uma argamassa ser convenientemente utilizada e consequentemente apresentar todo o seu potencial de qualidade é necessário que ela seja trabalhável (OLIVEIRA, 1989). A trabalhabilidade é a propriedade que garantirá não só condições de execução, como também um desempenho adequado do revestimento em execução.

Para argamassa de revestimento isso se traduz em uma aderência apropriada ao substrato e a facilidade de acabamento superficial.

É consenso entre diversos autores que uma argamassa de revestimento tem boa trabalhabilidade quando se deixa penetrar com facilidade pela colher de pedreiro, sem ser fluida; se mantém coesa, sem aderir à colher, ao ser transportada para a desempenadeira e lançada contra a base; e permanece úmida o suficiente para ser espalhada, cortada (na operação de sarrafeamento) e ainda receber o tratamento superficial previsto (SELMO, 1989).

Segundo Filomeno (1993), a noção de trabalhabilidade é muito mais subjetiva que física. Considera-se a consistência como sendo o componente físico mais importante, associada às propriedades intrínsecas da mistura fresca, relacionadas com, a mobilidade da massa e a coesão entre os elementos constituintes, a trabalhabilidade depende também das propriedades dos substratos e da habilidade do pedreiro.

b) Índice de Consistência e Plasticidade

Carasek (2010) cita que a consistência e a plasticidade são os principais fatores condicionantes da propriedade "trabalhabilidade" e, por isso, algumas vezes elas são confundidas como sinônimos da trabalhabilidade.

A *Reunion Internationale des Laboratoires et Experts des Materiaux, Systemes de Construction et Ouvrages (*RILEM) no documento MR-3 (1982), a qual se trata de uma recomendação europeia, indica que a trabalhabilidade das argamassas está baseada nas propriedades da consistência e da plasticidade. Define também a consistência como uma propriedade da argamassa pela qual esta tende a resistir à deformação, ou seja, o grau de facilidade o qual uma argamassa deformar-se sob a ação de cargas. A plasticidade é a propriedade pela qual, a argamassa tende a reter a deformação, após a redução do esforço de deformação.

Pode-se avaliar a consistência das argamassas por meio de ensaios que empregam a penetração de um corpo no interior da argamassa, e com métodos que utilizam vibração ou choque que é o caso da mesa de consistência ou "*flow table test*" que possibilita produzir uma deformação nas argamassas a fim de medir a consistência e a plasticidade.

A consistência ou fluidez da argamassa pode ser classificada em seca, plástica ou fluida, dependendo da quantidade de cimento e água existente ao redor dos agregados (ARAÚJO, 1995).

c) Retenção de Água

A retenção de água pode ser definida como a capacidade da argamassa em reter mais ou menos a água de amassamento quando em contato com uma superfície absorvente. Ou a capacidade da argamassa no estado fresco em manter sua consistência quando submetida a solicitações que provocam perda de água de amassamento seja por evaporação, sucção ou absorção por uma superfície.

Segundo Selmo (1989, *apud* TRISTÃO, 1995), no estado fresco, em argamassas de revestimento a retenção de água interfere no tempo disponível de aplicação, regularização e desempeno da argamassa. No estado endurecido a retenção de água afeta as condições de hidratação do cimento e a carbonatação da cal que são os responsáveis pela evolução do endurecimento da argamassa. Como a retenção interfere na velocidade de evaporação da água de amassamento, pode influir na retração por secagem.

d) Adesão inicial

Espera-se que no instante da aplicação da argamassa fresca contra a base de aplicação ocorra a adesão inicial. As argamassas são aplicadas, em estado plástico, sobre uma base sólida, previamente tratada ou não.

Segundo Carasek (2010), a adesão inicial, também denominada de “pegajosidade”, é a capacidade da argamassa no estado fresco apresentar uma união inicial quando em contato com uma base. Está diretamente relacionada com as características reológicas da mistura de cimento e água, especificamente a sua tensão superficial.

A redução da tensão superficial da pasta (cimento e água) propicia um maior contato físico da pasta com os grãos de agregado e também com a base, melhorando, assim, a adesão entre elas.

4.3.2.2 Propriedades no Estado Endurecido

a) Resistência Mecânica

Argamassas de revestimento devem também apresentar capacidade de absorver pequenas deformações, deformando-se sem sofrer ruptura ou por meio de microfissuras, não comprometendo a sua aderência, estanqueidade e durabilidade.

A resistência mecânica segundo Selmo (1989), diz respeito à propriedade dos revestimentos de possuírem um estado de consolidação interna capaz de suportar esforços mecânicos das mais diversas origens e que se traduzem, em geral, por tensões simultâneas de tração, compressão e cisalhamento. Esforços como o desgaste superficial, impactos ou movimentação higroscópica são exemplos de solicitações que exigem resistência mecânica dos revestimentos, pois geram tensões internas que tendem a desagregá-los.

Segundo Tristão (1995), as argamassas devem proporcionar resistência suficiente para suportar as movimentações da base, o que pode ocorrer por recalque ou por variação dimensional, por umedecimento e secagem ou por dilatação e contração do revestimento, devido às variações de temperatura. O autor comenta ainda que, embora a resistência mecânica das argamassas não represente uma propriedade fundamental como é para o concreto, sua determinação é justificada, pois, está relacionada com a elasticidade das argamassas que interferem diretamente na durabilidade dos revestimentos.

Um dos principais problemas nos revestimentos, associado à resistência mecânica da argamassa, é a baixa resistência superficial, que se traduz na pulverulência, prejudicando a fixação das camadas de acabamento, como a pintura ou, mais grave ainda, as peças cerâmicas.

b) Aderência

A aderência é a propriedade fundamental de um sistema de revestimento de argamassa a qual permite, por meio da interface argamassa-substrato, absorver e resistir aos esforços normais e tangenciais, ou seja, indica a capacidade do revestimento em manter-se estável, com ausência de fissuração e fixo ao substrato (CARASEK, 2010).

Segundo Maciel, Barros e Sabbatini (1998) a aderência é uma propriedade resultante da resistência de aderência à tração, da resistência de aderência ao cisalhamento e da extensão de aderência da argamassa. Esta depende diretamente das propriedades da argamassa no estado fresco, dos procedimentos durante a execução do revestimento, da natureza e características do substrato e da sua limpeza superficial.

Cincotto *et al*. (1995), esclarecem que a aderência é expressivamente influenciada pelas condições da base, destacando a porosidade e absorção de água, resistência mecânica, textura superficial e pelas próprias condições de execução onde se exige um assentamento

homogêneo sem descontinuidades excessivas. Assim, não se pode falar em aderência de uma argamassa sem especificar em que material ela está aplicada, pois a aderência é uma propriedade que depende da interação dos dois materiais.

A textura do substrato, portanto, é muito importante para o desenvolvimento da aderência. É fundamental que o substrato tenha uma definida capacidade de absorção de água, a fim de gerar um caminho facilitado para o transporte dos compostos em hidratação do cimento. Substratos com absorção muito baixa promovem uma aderência baixa.

A rugosidade da interface incrementa os valores de aderência conseguidos pela hidratação no interior do substrato. Por sua vez, substratos rugosos possuem maior área de contato com a argamassa aplicada, melhorando as condições de aderência. Substratos lisos, geralmente levam a valores de aderência menores, devendo sempre preparar as superfícies com o intuito de torná-las rugosas (BAUER, 2005).

De acordo com as pesquisas de Murray (1983, *apud* ARAÚJO, 1995), no que diz respeito à influência do agregado na resistência de aderência, concluiu-se que em substratos de baixa absorção de água a resistência de aderência pode ser melhorada pela utilização de areia fina.

Neste sentindo Camargo (1995) comenta que, a argamassa produzida com material reciclado, tem excelente resistência ao arrancamento. Constatado o fato de estas argamassas apresentarem muita retenção de água, devido ao entulho, especialmente o argiloso, acaba colaborando para uma melhor hidratação do cimento e consequente diminuição da retração e possíveis surgimento de fissuras ao longo do tempo.

Carasek (2010) afirma que a fim de não prejudicar a aderência pela fuga prematura da água necessária para as reações de hidratação do aglomerante, é necessário que a argamassa possua, enquanto fresca, adequada retenção da água de amassamento, que não seja aplicada em camadas muito finas, que o substrato não seja demasiadamente absorvente e que as condições atmosféricas durante a aplicação (temperatura, umidade relativa, vento, incidência de raios solares) não sejam tais que favoreçam a evaporação demasiadamente rápida dessa água.

c) Durabilidade

É a propriedade que a argamassa apresenta para resistir ao ataque de meios e agentes agressivos, mantendo suas características físicas e mecânicas inalteradas com o decorrer do tempo e de sua utilização.

De acordo com Maciel, Barros e Sabbatini (1998), durabilidade é uma propriedade do período de uso do revestimento no estado endurecido e que reflete o desempenho do revestimento frente às ações do meio externo ao longo do tempo.

Alguns fatores prejudicam a durabilidade dos revestimentos, tais como: fissuração, espessura excessiva, cultura e proliferação de microorganismos, qualidade das argamassas e a falta de manutenção.

4.3.2.3 Fatores que Afetam as Propriedades das Argamassas

a) Granulometria dos Agregados

A distribuição granulométrica da areia influência diretamente no desempenho da argamassa, interferindo na trabalhabilidade e no consumo de água e aglomerantes, no estado fresco; no revestimento acabado, exerce influência na fissuração, na rugosidade, na permeabilidade e na resistência de aderência (ANGELIM *et al*., 2003).

Segundo Landi (1987), quem regula a água de amassamento das argamassas é a granulometria. A fração granulométrica do agregado miúdo abaixo da peneira ABNT 0,075 mm é denominada de material pulverulento e, desde que não esteja presente em excesso, pode contribuir para melhorar a trabalhabilidade das argamassas.

De acordo com Selmo (1986), a granulometria deve ser contínua e regular, deste modo o volume de vazios a ser preenchido pela pasta será menor, isto leva a uma menor retração potencial da mistura.

Selmo (1986) ainda comenta que, os agregados miúdos contribuem para melhorar a trabalhabilidade, resistência à aderência e para diminuir a retração na secagem. As principais propriedades dos agregados miúdos, que influenciam no desempenho das argamassas de revestimentos são: composição química e mineralógica, características geométricas dos grãos e composição granulométrica. Na Tabela 4 pode-se observar a classificação dos agregados proposta por SELMO (1986).

Tabela 4 – Classificação dos agregados quanto ao módulo de finura.

AREIA MÓDULO DE FINURA	
Fina	MF < 2,00
Média	2,00 ≥ MF ≥ 3,00
Grossa	MF > 3,00

Fonte: SELMO (1986).

Selmo (1986) comenta ainda que, quanto maior o módulo de finura do agregado, maior seria a fração de grãos grossos, e mais ásperos seria a textura conferida, aos revestimentos de argamassa. Desta maneira indicam-se as areias grossas para chapisco, às areias médias para emboço e as finas para reboco.

A ASTM 897-83 (1983), não recomenda que sejam utilizados agregados miúdos em argamassas de revestimentos, que apresentem mais de 25% em peso, de material retido entre as peneiras de abertura 0,30 e 0,15 mm.

Em uma análise comparativa em diversas normas Selmo (1986), mostra que todas as especificações fixam valor máximo para teor de materiais pulverulentos em torno de 5%, bem como para o teor de matéria orgânica, que são avaliados pelo método colorimétrico.

Carneiro (1999), ao discutir as resistências mecânicas das argamassas, coloca a distribuição granulométrica da areia e porosidade da argamassa como fatores que influenciam nestas propriedades. Com relação à distribuição granulométrica da areia, quanto maior a continuidade da areia, maiores serão as resistências mecânicas. Este fato ocorre devido à melhoria no empacotamento da mistura, o qual pode ser demonstrado tanto pelo aumento do valor da massa unitária, como pelo aumento do coeficiente de uniformidade da areia. Tal coeficiente de uniformidade traduz uma continuidade na distribuição granulométrica da areia, e pode ser definida como sendo a relação entre os diâmetros correspondentes à abertura da malha pela qual passam 60% e 10% em massa de areia.

b) Massa específica, Massa unitária e Absorção

A correta utilização das rochas e demais materiais pétreos na construção civil requer o conhecimento prévio de suas propriedades. Segundo Neville (1997) a massa específica é uma propriedade influenciada pela porosidade do material. No entanto, a massa unitária é influenciada pela porosidade, a distribuição de tamanho e a forma dos grãos (DUAILIBE, 2008).

Para efeitos de dosagem, é necessário que se conheça o espaço ocupado pelas partículas do agregado, incluindo os poros existentes dentro das partículas. Portanto, é de sumo importância determinar a massa específica aparente do agregado seco, que pode ser definida como a relação da massa de um agregado seco e seu volume, incluindo os poros permeáveis como parte do agregado.

Massa unitária pode ser definida como a massa das partículas dos agregados por unidade de volume unitário, incluindo o volume aparente dos grãos e dos vazios no interior dos grãos. A massa unitária é muito importante na dosagem, pois para se quantificar o agregado em volume, é preciso conhecer a quantidade de material que preenche um recipiente com capacidade igual à unidade de volume.

Portanto, esta grandeza é usada para transformar quantidades em massa para quantidades em volume e vice-versa. É válido lembrar que, para uma dada massa específica, a massa unitária depende da distribuição de tamanhos e da forma das partículas. Uma massa unitária mais alta significa que existem menos vazios a ser preenchidos por agregado mais fino e cimento (NEVILLE, 1997).

A absorção é o aumento da massa do agregado devido ao preenchimento de seus poros permeáveis por água. O entendimento deste fenômeno é fundamental para a compreensão das características da massa especifica e massa unitária, pois se o agregado utilizado nos ensaios estiver úmido os valores obtidos serão diferentes dos obtidos com o agregado previamente seco em estufa, podendo acarretar em erros de cálculo de volume e dosagem (METHA e MONTEIRO, 2008).

Tam *et al*, (2006, *apud* PEDROZO, 2008) destaca que os valores de absorção do agregado reciclado dependem do tipo e forma de obtenção dos agregados, sendo que, normalmente, o agregado proveniente de RCD apresenta maior absorção que o agregado natural.

4.3.3 Normas Técnicas Aplicáveis à Argamassas de Revestimento

Considerando os textos normativos da ABNT, que prescrevem parâmetros relacionados com a produção de revestimentos de argamassa, percebe-se o esforço desenvolvido no sentido da elaboração de especificações e métodos de ensaio específicos para a tecnologia das argamassas.

As principais normas técnicas aplicadas neste trabalho, para a determinação da viabilidade técnica da utilização de argamassas para revestimento estão apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Normas Técnicas aplicáveis

Número	Ano	Título
NBR13276	2002	Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência
NBR 13281	2005	Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos.
NBR 13279	2005	Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.
NBR 13528	2010	Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração.
NBR 13749	2013	Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação.

4.4 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

A preocupação com resíduos sólidos de maneira geral é relativamente recente no Brasil, diferente de países como os EUA, onde no final da década de 1960 já existia uma política para resíduos, chamada de *Resource Conservation and Recovering Act* (RCRA). A legislação pertinente aos RCD no Brasil é pouco expressiva se comparada às vigentes nos Estados Unidos, na Europa e mesmo na Ásia (SCHNEIDER *et al*., 2003, *apud* SILVA, 2014).

A ABNT NBR 10004 revisada em 2004 se destaca em relação à classificação dos resíduos sólidos, em que insere os resíduos de construção e demolição, considerando seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente.

Considera-se a Resolução nº 307 de 05 de julho de 2002, como um avanço na legislação ambiental. Esta resolução estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para

gestão dos resíduos da Construção Civil, provenientes de construção, reformas, reparos e demolições.

Com a aprovação da Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, através da Lei nº 12.305/2010, uma perspectiva de melhoria se apresenta ao cenário nacional, pois, além de visar à regulamentação da gestão adequada dos resíduos, a lei também inclui questões para o desenvolvimento econômico e social, bem como para a manutenção da qualidade ambiental.

Em nível municipal, Tucuruí apresenta o Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (PGRSU), desenvolvido em concordância com a Lei Federal nº 11.145/2007 que estabelece a Política Nacional de Saneamento, obedecendo também a Lei Federal n° 12.305/2010.

4.4.1 ABNT NBR 10004:2004

A ABNT NBR 10004:2004 dispõe os critérios para a classificação e os códigos para a identificação dos resíduos de acordo com suas características. Através desta pode-se classificar os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam, posteriormente, ser gerenciados adequadamente.

O processo de classificação de resíduos abrange a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem e de seus constituintes e características e a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido.

A identificação dos constituintes a serem avaliados na caracterização do resíduo deve ser criteriosa e estabelecida de acordo com as matérias-primas, os insumos e o processo que lhe deu origem.

Para os efeitos desta Norma, os resíduos são classificados em:

- Resíduos classe I – Perigosos: São aqueles que apresentam riscos, em função de suas propriedades físicas, químicas e infectocontagiosas e podem apresentar:

a. riscos à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices; e,

b. riscos ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada.

Podem ainda apresentar as características de: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxidade ou patogenicidade.

- Resíduos classe II – Não perigosos;

c. Resíduos classe II A – Não inertes: São aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos Classe I - Perigosos ou de resíduos Classe II B – Inertes. Podem ter propriedades, tais como: biodegrabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

d. Resíduos classe II B – Inertes: Se enquadram nessa classificação quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007:2004, submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

Assim, os resíduos de construção e demolição são classificados na Classe II B – Inertes. Porém, caso ocorra contaminação considerável, com solventes ou outro tipo de material classe I, torna o resíduo perigoso, o que está de acordo com o definido pela NBR 10004/2004.

Esta norma apresenta significativa importância, proporcionando melhoria na aplicação dos conceitos empregados na classificação dos resíduos e de seu entendimento de maneira geral, assim, auxiliam a gestão de resíduos à medida que fornecem as entidades (públicas ou privadas) os procedimentos a serem adotados para uma gestão eficaz de RCD, contribuindo para que o setor construtivo caminhe em direção ao desenvolvimento sustentável.

4.4.2 Resolução CONAMA nº 307/2002

A CONAMA nº 307/2002 estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, disciplinando as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais, conforme exposto no art. 1º. A resolução entrou em vigor em janeiro de 2003, dando um prazo de 18 meses para os Municípios e o Distrito Federal solucionarem este problema.

Portanto, diante dos parâmetros estabelecidos para efeito desta Resolução, os resíduos da construção civil são classificados, conforme expresso no artigo 3º, da seguinte forma:

I - Classe A: são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;

b)de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;

c)de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras.

II - Classe B: são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso; (redação dada pela Resolução n° 431/11).

III - Classe C: são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação; (*redação dada pela Resolução n° 431/11*).

IV - Classe D: são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde. (*redação dada pela Resolução n° 348/04*).

Considerando o gerenciamento eficiente do processo, fica estabelecido no Art. 10 que os resíduos da construção civil, após triagem, deverão ser destinados das seguintes formas:

I - Classe A: deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados ou encaminhados a aterro de resíduos classe A de reservação de material para usos futuros; (*nova redação dada pela Resolução 448/12*)

II - Classe B: deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura;

III - Classe C: deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.

IV - Classe D: deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas. (*nova redação dada pela Resolução 448/12*).

Como instrumento para implantação da gestão de resíduos da construção civil, a resolução estabelece o Plano Integrado de Gerenciamento de resíduos da Construção Civil (PIGRCC), que deve incorporar:

- Programa Municipal de Gerenciamento de Resíduos da construção Civil (PMGRCC) – Geradores de pequenos volumes.
- Projetos de Gerenciamento de Resíduos da construção Civil (PGRCC) - Geradores de grandes volumes.

Neste aspecto, a aplicação desta resolução concentra aos municípios a administração da disposição destes resíduos, objetivando a eliminação da destinação irregular do RCD assim como a fiscalização da disciplina e da responsabilidade dos envolvidos com a geração deste montante de acordo com as novas legislações estabelecidas.

4.4.3 Política Nacional de Resíduos Sólidos

A Lei nº. 12.305, de 2 de agosto de 2010, institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Esta dispõe sobre princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, inclusive os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicados. Logo após, em 23 de dezembro 2010, foi publicado o Decreto nº. 7.404/2010 que a regulamenta.

A PNRS, sancionada depois de 20 anos de discussão, pode se considerada um marco regulatório na questão ambiental que reforça a necessidade da sustentabilidade que desafia cada cidadão, empresa ou órgão público. No artigo 9º desta lei é descrito a hierarquia das ações no manejo de resíduos sólidos, conforme mostrado na Figura 2.

Figura 2- Hierarquização das ações
Fonte: Adaptado da PNRS, 2010.

Dentre os princípios da PNRS, tem-se a prevenção, o desenvolvimento sustentável, a cooperação entre as diversas esferas do poder público, o setor empresarial e demais segmentos da sociedade, tornando explicito a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos que amplia a abordagem, envolvendo desde o processo e cadeia de produção até a distribuição dos respectivos produtos geradores de resíduos.

Desta maneira, a Política Nacional complementa a Resolução CONAMA nº 307/2002 que estabelece o tratamento dos resíduos de forma específica enquanto a política apresenta diretrizes gerais, sendo criada para minimizar a problemática dos resíduos sólidos e pretende exercer um papel multiplicador em relação à elaboração de planos que contribua para mudança de atitudes abrangendo o setor da construção civil.

O incentivo à indústria da reciclagem, com o intuito de promover o uso de matérias-primas e insumos derivados recicláveis e reciclados encontra-se dentre os objetivos da PNRS. Esta determina que as empresas de construção civil estejam sujeitas a elaboração de plano de gerenciamento de resíduos, nos termos regulamentados ou de normas estabelecidas pelos órgãos do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama).

Dentre as questões pontuais desta lei, encontra-se a logística reversa que prevê uma série de ações para facilitar o retorno dos resíduos para que possam ser tratados ou reaproveitados em novos produtos. No setor da construção apresentou alguns resultados, como na questão dos resíduos do gesso, por exemplo. A reutilização do gesso é utilizada na fabricação do cimento, onde é inserido na fase final de moagem do clínquer (em substituição a gipsita '*in natura*') para retardar a pega do cimento.

Neste aspecto o setor de tintas também apresentou soluções. Sendo que as orientações da Associação Brasileira dos Fabricantes de Tintas (ABRAFATI), em relação ao manejo e destinação das embalagens que contém resíduos de tinta, deverão ser feito o esgotamento das embalagens, com aproveitamento máximo do seu conteúdo, sem lavagem.

Tendo em vista a Lei nº 12.305/2010 – Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS a qual propiciou uma nova perspectiva ao cenário nacional, determinando a regulamentação do gerenciamento e gestão adequada dos resíduos, incluindo no seu escopo assuntos importantes para o desenvolvimento econômico, social e a manutenção ambiental. Neste aspecto, encontra-se a regulamentação e importância da elaboração do Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos no município de Tucuruí.

4.4.4 Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos de Tucuruí

O Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (PGRSU) do munícipio de Tucuruí foi desenvolvido em concordância com a Lei Federal nº 11.145/2007 que estabelece a Política Nacional de Saneamento e define a obrigatoriedade de elaboração de Planos de Resíduos Sólidos para todos os municípios brasileiros. Também em conformidade com Lei Federal 12.305/2010 que estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

O PGRSU foi elaborado em setembro de 2013 pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SEMMA). Este apresenta o diagnóstico que retrata a situação atual da gestão dos resíduos sólidos no município, a proposição dos objetivos, metas e ações, bem como os mecanismos e procedimentos a serem utilizados, visando avaliar de forma sistemática as ações programadas. Dentre os objetivos destacados, prevê-se possibilitar a gestão dos resíduos da construção civil e demolição, conforme as diretrizes estabelecidas pela legislação pertinente, assim como, buscar a melhoria contínua em razão das técnicas e tecnologias inovadoras na gestão de RCD.

As propostas apresentadas para problemática do RCD pressupõe contemplar aspectos legais, institucionais, organizacionais, operacionais, além de princípios de educação ambiental, com objetivo de informar e capacitar os respectivos atores envolvidos, considerando prazos a serem cumpridos.

Um dos avanços destacado no PGRSU, neste aspecto, é a existência de uma central de triagem de recicláveis componente da cooperativa (COOPEMART), localizada no Bairro do Getat, Além da classificação de material reciclável e o reaproveitamento de refugos de madeiras, na Central se encontra em fase de experiência, a reciclagem de RCD para a fabricação de pisos cerâmicos.

Em relação à destinação final de RCD, destaca-se o projeto de implantação, em andamento, do Aterro Sanitário que deverá suprir a demanda do município, sob responsabilidade da SEMMA. A área definida para a implantação do aterro sanitário do município de Tucuruí, de acordo com o PGRSU, está localizada na rodovia BR-422, nas mediações do km 88, sentido Tucuruí – Cametá, onde estão sendo realizados os estudos ambientais necessários.

Porém, o Plano não evidencia uma data para implantação deste aterro sanitário, considerado as metas para tratamento e destinação final do PGRSU determinadas em períodos de curto prazo (1 a 4 anos), médio prazo (4 a 8 anos) e longo prazo (8 a 20 anos). Neste

aspecto, é importante destacar que as exigências da Lei n° 12.305 que institui a PNRS, estabelecia a extinção dos lixões com prazo para agosto de 2014.

Considerando que esta data limite encerrou, sem que a maioria dos municípios tenha instalado aterros sanitários para a destinação adequada dos resíduos sólidos, o texto da Medida Provisória n° 651/14, aprovado no Plenário da Câmara dos Deputados, amplia até 2018 o prazo para as cidades acabarem com os seus lixões.

O PGRSU não dispõe também de informações quanto ao eventual uso futuro da área do lixão, não prevendo nenhum tipo de tratamento ambiental ou ocupação para a mesma após sua desmobilização.

5 ÁREA DE ESTUDO

5.1 MUNICÍPIO DE TUCURUÍ

A área de estudo corresponde ao município de Tucuruí localizado no Estado do Pará, pertencente à Região Norte (a maior do país em extensão territorial).

Considerando a divisão administrativa do IBGE, o município situa-se na mesorregião Sudeste Paraense e integra, juntamente com os municípios de Breu Branco, Jacundá, Nova Ipixuna, Itupiranga e Novo Repartimento, a microrregião de Tucuruí (Figura 3). A sede do município de Tucuruí situa-se nas coordenadas 03º45'58" de latitude sul e 49º40'21" de longitude oeste, a uma altitude de 42m em relação ao nível do mar.

De acordo com dados do IBGE, a estimativa da população para o município de Tucuruí, corresponde a 105.431 habitantes, com data de referência em 1º de julho de 2014.

Com uma área de 2.086km², conforme o IBGE, o município situa-se à margem esquerda do rio Tocantins e do lago formado com a construção da UHE Tucuruí. O clima da região é tropical úmido de monção, tipo AM. A média anual da temperatura varia de 26° a 27° C, com máxima 32°a 33° C, e mínima de 22° a 23° C.

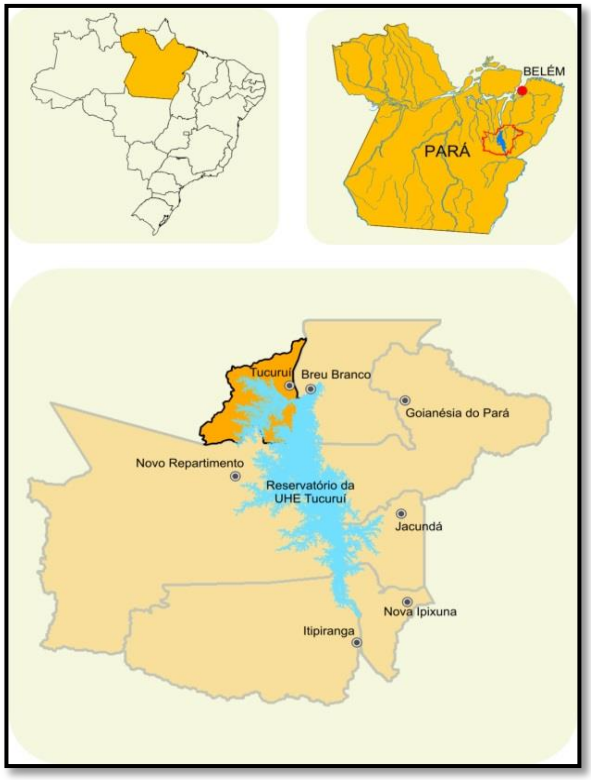


Figura 3 – Mapa de localização do município de Tucuruí.
Fonte: Plano diretor, (2006).

Em relação ao setor da construção civil, atualmente existem 18 empresas construtoras, de pequeno e médio porte, que atuam no município de Tucuruí. Sendo que 95% são empresas com sede no próprio município e apenas três são de outros locais. Destaca-se que essas empresas não adotam um Programa de Gerenciamento destes resíduos conforme destacado na Resolução CONAMA 307/2002, sendo uma exigência legal da PNRS (Lei nº 12.305/2010). A prefeitura por sua vez, não estabelece exigências para contratação das mesmas. Porém alguns critérios e melhorias estão previstos no Novo Código de Obras do município, que se encontra em processo de aprovação. [1].

A problemática da destinação de RCD é enfatizada no PGRSU do município de Tucuruí. No diagnóstico apresentado verifica-se que, quando os resíduos não são abandonados em terrenos baldios ou em vias públicas a remoção é realizada pela Secretaria de Serviços Urbanos, por empresas particulares ou pela concessionária CLEAN Gestão Ambiental, mediante solicitação.

A prática adotada pela grande maioria dos geradores destes resíduos é a utilização de caçambas estacionárias para a disposição de todos os tipos de resíduos ou rejeitos. Sendo que

[1] Informação fornecida pelo Engenheiro Civil Márcio Hiroshi da Secretaria Municipal de Obras de Tucuruí, em entrevista concedida às pesquisadoras no dia 10 de julho de 2014.

não é realizada a segregação, assim como não há uma preocupação com a destinação adequada dos mesmos. Vale ressaltar que algumas poucas empresas adotam a pratica da reutilização ou reciclagem de RCD.

A destinação final é um agravante do serviço no município. Esta problemática é evidenciada, uma vez que a área destinada ao confinamento dos resíduos caracterizado como "Lixão" recebe todo tipo de material (orgânico, da construção civil e resíduos especiais), destacando que estes não recebem nenhum tipo de tratamento. Na Figura 4 pode-se observar tal característica.

Figura 4 – Disposição de RCD no lixão.
Fonte: Os autores.

A área de destinação atualmente utilizada está localizada na vicinal bom Jesus (zona rural), a aproximadamente 13 km da sede do município, conforme mostra a Figura 5.

Figura 5 – Localização do atual lixão de Tucuruí.
Fonte: Google Earth, 2014.

5.2 USINA HIDRELÉTRICA DE TUCURUÍ

A Usina Hidrelétrica de Tucuruí, geradora do resíduo pertencente a esta pesquisa, foi inaugurada em 22 de novembro de 1984 e está situado no rio Tocantins, 350 km ao sul de Belém, capital do Estado do Pará. O seu empreendimento foi realizado em duas etapas.

As obras da 1ª Etapa iniciaram em novembro de 1975 e, em novembro de 1984, entrou em operação comercial a primeira unidade geradora. Em dezembro de 1992 foi concluída a motorização dessa etapa com 12 unidades geradoras de 330 MW e duas unidades auxiliares de 20 MW, totalizando 4.245 MW instalados.

Com a construção da segunda etapa da Hidrelétrica Tucuruí concluída em 2008, além das 12 turbinas existentes, foram acrescidas outras 11 unidades geradoras que, juntas ampliaram a capacidade de geração de 4.000 para 8.370 MW e, atualmente com processos de modernização de equipamentos a potência instalada atual (homologada pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, em 07/01/2013 e publicado no Diário Oficial da União (DOU) em 08/01/2013) de 8.535 MW, constituindo-se a quarta Usina Hidrelétrica do mundo e a maior genuinamente brasileira, possibilitando o atendimento a cerca de 40 milhões de pessoas.

A UHE Tucuruí, desde a sua inauguração, está beneficiando cerca de 11 milhões de habitantes em 360 municípios; atende a 96% do mercado de energia elétrica do Pará, 99% do Estado do Maranhão, além do norte do Estado de Tocantins e do intercâmbio de energia com a Companhia Hidrelétrica de São Francisco - CHESF, na região Nordeste do Brasil.

Figura 6 – Usina Hidrelétrica de Tucuruí.
Fonte: Eletrobras/Eletronorte (2014).

Além de ser geradora de energia, a UHE Tucuruí também atua como agente de desenvolvimento na região, propiciando empregos, aumento no nível de qualidade de vida e incentivo na área comercial, industrial e social da região.

Pode destacar-se que a Eletrobras/Eletronorte, responsável pela Usina Hidrelétrica de Tucuruí, recebe a certificação da ISO 14001, norma internacionalmente reconhecida que define o que deve ser feito para estabelecer um Sistema de Gestão Ambiental (SGA) efetivo.

Para a empresa obter um certificado ISO 14001, é necessário que esta atenda a várias exigências, dentre elas podemos citar: Política e aspectos ambientais; Programa de gestão ambiental; Conscientização e treinamento dos funcionários; entre outro.

Por conta desta doutrina adotada pela empresa, os resíduos provenientes dos serviços de reforma e manutenção realizados na usina, são separados e armazenados de forma adequada, apresentando assim, um interessante objeto de pesquisa.

5.2.1 Geração de Resíduo de Construção e Demolição

5.2.1.1 Serviços de Manutenção da UHE Tucuruí

Após o término da construção da Usina Hidrelétrica de Tucuruí, iniciaram-se os serviços de manutenção preventiva e corretiva da infraestrutura da barragem. Estes procedimentos são executados com certa frequência, com a finalidade de garantir o adequado funcionamento e durabilidade da estrutura.

Com a conclusão destes serviços, normalmente resultam-se resíduos que precisam encontrar uma destinação final adequada, seguindo sempre os preceitos estabelecidos nas normas e leis ambientais com as quais a empresa se mantem adepta.

Durante a construção das eclusas, os resíduos gerados pelos serviços eram depositados no leito do canal, no entanto, quando estas foram inauguradas, buscou-se um novo local para a realização para a disposição final destes entulhos.

Dentre os vários serviços que foram executados na usina, alguns deles merecem destaque, pois geraram os resíduos que foram utilizados nesta pesquisa, sendo os seguintes: construção de uma parede corta-fogo (Figura 7a), reparo da Impermeabilização da cobertura do edifício de Supervisão (Figura 7b), reforma de banheiros (Figura 7c), e construção de sala para análise de óleo (Figura 7d).

(a) **(b)**

(c) **(d)**

Figura 7 – Serviços de manutenção e reforma na UHE Tucuruí.
Fonte: Os autores.

Todo o material proveniente destes serviços é adequadamente recolhido e armazenado em um pátio, até ser encontrada uma destinação final.

5.2.1.2 Construção/Reformas nas residências da Vila Permanente

A Vila Residencial (Vila Permanente) foi construída pela Eletrobras/Eletronorte para acomodar (os trabalhadores e seus familiares que trabalharam na construção e ainda trabalham na operação e manutenção) as pessoas que trabalham na construção e operação da Usina, Eclusas e atividades afins. A Figura 8 mostra uma vista panorâmica da Vila Permanente. Localiza-se a seis quilômetros da cidade de Tucuruí e é composta por

aproximadamente 3000 residências de quatro tipos, distribuídas em áreas como se fossem bairros, que são: Vila Marabá, Península, Vila Permanente e Vila Tropical.

Figura 8 – Vila Permanente.
Fonte: Cidade de Tucuruí (2014)

Atualmente, existem reformas e construções com ampliação das casas, efetuadas tanto por particulares como pela Eletrobras/Eletronorte nas residências dos funcionários. Estes serviços são realizados unicamente mediante uma prévia autorização do setor da Administração de Vilas.

As reformas e construções são constantemente acompanhadas pelos funcionários, por meio de visitas periódicas nas residências, bem como por uma apresentação de projetos pelos particulares.

Os resíduos de construção e demolição gerados, pelos serviços executados nas residências dos funcionários da Eletrobras/Eletronorte são devidamente separados ainda no local e os operários acondicionam os resíduos perigosos em recipientes apropriados, que são distribuídos pelos funcionários da fiscalização. Os particulares descartam os seus resíduos em frente as suas residências.

As reformas de responsabilidade da Eletrobras/Eletronorte são realizadas por empreiteiras contratadas, que antes do inicio dos serviços, recebem palestras informativas sobre os critérios pelos quais a empresa gerencia seus resíduos e como deverão proceder para que estes não prejudiquem o meio ambiente.

A empresa trabalha de acordo com a Resolução do CONAMA 307/2002, separando os resíduos conforme a sua classificação e também de acordo com os preceitos estabelecidos pela ISO 14001.

Bernardo (2013) cita que durante o ano de 2012 foram realizadas reformas nas Vilas Residenciais de 25 casas pela empresa e 2.055 melhorias particulares nos imóveis como: troca de piso, substituição de esquadrias, ampliação de quartos, cozinhas, áreas frontais e de lazer, muros frontais e fundos, etc., resultando em uma grande quantidade de resíduos.

Atualmente o setor de administração de Vilas está realizando a reforma de duas casas. Sendo que cada serviço produz, aproximadamente, 20 m³ de resíduo por imóvel, considerando tubos e conexões, madeiras e resíduos de concretos e alvenaria. Os resíduos de concreto e alvenaria são armazenados em área própria para reutilização. A Figura 9a exemplifica as reformas realizadas e a Figura 9b destaca o RCD depositado irregularmente na frente do imóvel.

(a) **(b)**

Figura 9 – RCD proveniente de reforma e deposição irregular.
Fonte: Os autores.

A Vila Permanente não possui local apropriado para o depósito do RCD gerado, por isso os mesmos são descartados em frente às residências, para serem posteriormente recolhidos pelo caminhão de entulhos em datas fixadas pelos responsáveis da Administração de Vilas da Eletrobras/Eletronorte. Os moradores são avisados, através de um calendário, das datas pré-fixadas para o recolhimento do material. Vale ressaltar que a coleta de RCD é

realizada separada dos resíduos urbanos, que são recolhidos diariamente em caminhão apropriado.

Devido a grande quantidade de reformas e a geração de resíduos provenientes destes serviços, este trabalho também poderá ser replicado para os resíduos das Vilas Residenciais, como uma possível solução de reciclagem e aproveitamento deste material na produção de argamassas de assentamento como o que será efetuado com os resíduos da Usina Hidrelétrica.

6 MATERIAIS E MÉTODOS

6.1 MATERIAIS

6.1.1 Cimento

No projeto experimental realizado em laboratório, para produção da argamassa utilizou-se o cimento Portland pozolânico – CPIV-32, da marca NASSAU, comumente encontrado na região de estudo.

6.1.2 Areia Natural

O agregado miúdo natural adotado na produção das argamassas de referências foi a areia média natural extraída do leito do rio Tocantins, localizado à sua margem esquerda, a qual foi utilizada na construção da segunda etapa da UHE Tucuruí, mantida no estoque denominado Maracanã. Sua caracterização física foi realizada no Laboratório de Materiais da Faculdade de Engenharia Civil da UFPA, Campus Tucuruí.

6.1.3 Água

Utilizou-se para a realização dos ensaios, água potável proveniente da rede de abastecimento da Vila Permanente, fornecida pela Eletrobras/Eletronorte.

6.1.4 Agregado miúdo reciclado

As amostras de agregados reciclados, provenientes do beneficiamento de resíduos da construção e demolição, foram coletadas na Usina Hidrelétrica de Tucuruí. Este RCD caracterizava-se como um material heterogêneo (misto), com predominância de concreto, argamassas, blocos de concreto e presença de materiais cerâmicos (lajotas e revestimentos de parede).

Na etapa de coleta de amostras foram tomadas todas as precauções para a obtenção de amostragem representativa quanto à natureza e características dos materiais.

6.2 MÉTODOS

Com a finalidade de responder a questão da pesquisa, realizou-se inicialmente a pesquisa bibliográfica, sendo esta necessária em todas as fases do trabalho.

O desenvolvimento da pesquisa, desde a concepção da temática, decorreu no período de Abril de 2013 a Dezembro de 2014. Os procedimentos experimentais que foram realizados se procederam em quatro locais distintos: o Canteiro de Obras da UHE Tucuruí, o Laboratório de Engenharia Civil da UFPA – Campus Tucuruí, o Laboratório de Engenharia Civil da UFPA – Campus Belém e no Laboratório do Instituto Federal do Pará (IFPA) – Campus Belém. Sendo que todos os procedimentos adotados foram imprescindíveis para alcançar os objetivos propostos.

De forma a demonstrar adequadamente a metodologia adotada, dividiu-se o procedimento da pesquisa em três etapas:

- Procedimentos Iniciais – Envolvendo a coleta, trituração e separação das amostras de RCD, proveniente dos serviços de manutenção e reforma da UHE- Tucuruí.
- Procedimentos Intermediários - A caracterização dos agregados miúdos, referente às suas propriedades físicas.
- Procedimentos Finais - Realização do preparo da argamassa e execução dos ensaios no estado fresco (índice de consistência) e estado endurecido (resistência à compressão, resistência à tração, assim como a microscopia eletrônica de varredura).

O fluxograma apresentado na Figura 10 sintetiza o delineamento da pesquisa com as etapas adotadas para o desenvolvimento.

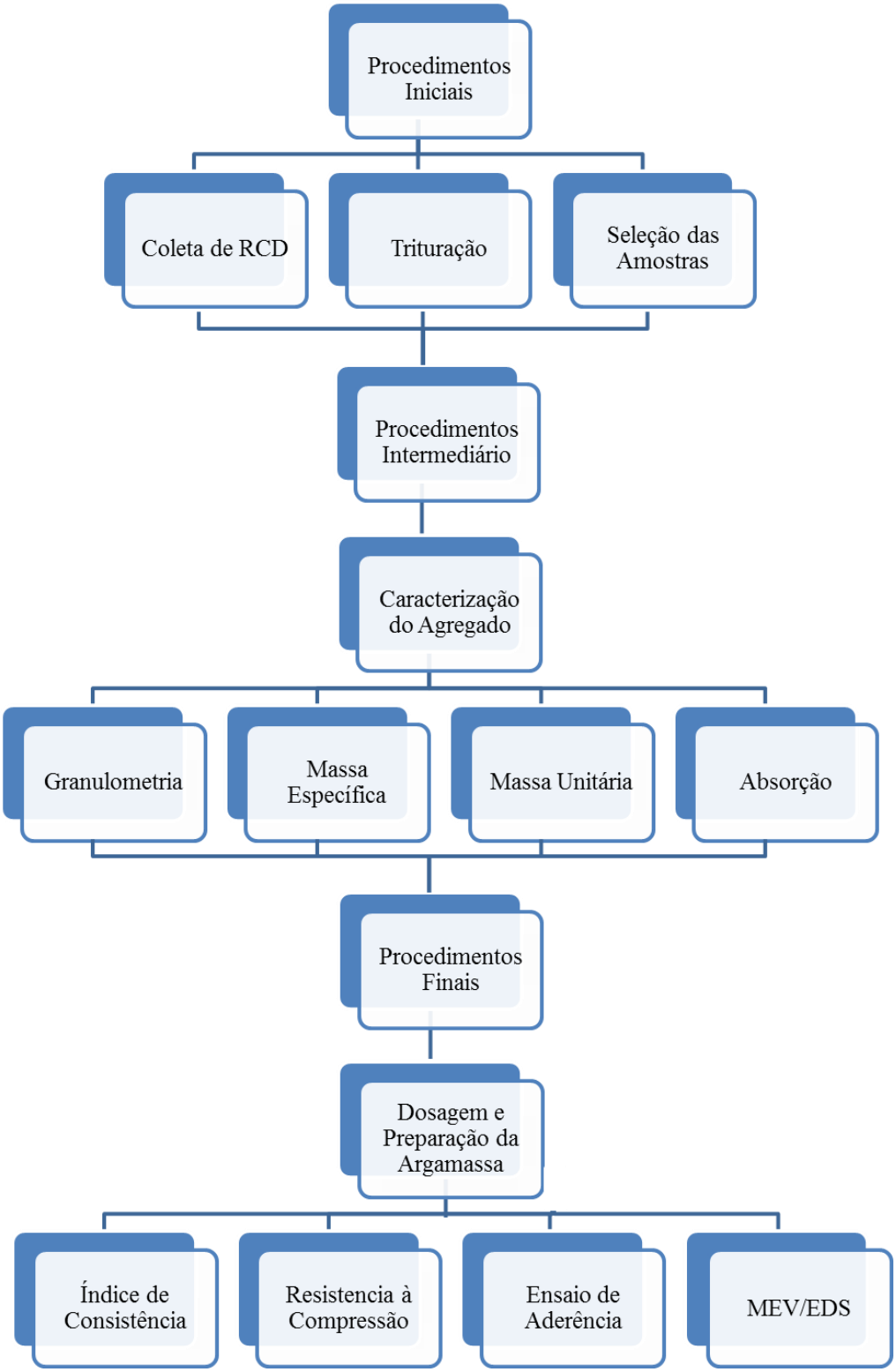


Figura 10 – Fluxograma da metodologia da pesquisa
Fonte: Os autores.

Na análise dos resultados, os dados obtidos dos ensaios foram avaliados com a finalidade de se verificar a influência da substituição proposta, estabelecendo-se assim, as conclusões da pesquisa.

6.2.1 Procedimentos Iniciais

Nesta etapa, foram realizados os procedimentos necessários para a coleta e o beneficiamento dos resíduos de construção e demolição, provenientes dos serviços de manutenção da UHE Tucuruí.

6.2.1.1 Coleta de RCD

Na etapa de obtenção do material, para a produção do agregado miúdo reciclado, utilizaram-se os resíduos provenientes das manutenções e reformas. Todo o material coletado desses serviços estava devidamente armazenado na UHE Tucuruí.

O local de armazenamento fica localizado em uma área afastada de onde se encontra o moinho, portanto, os resíduos foram colocados em uma caçamba para transporte do material, conforme demonstrado na Figura 11, até onde seria triturado.

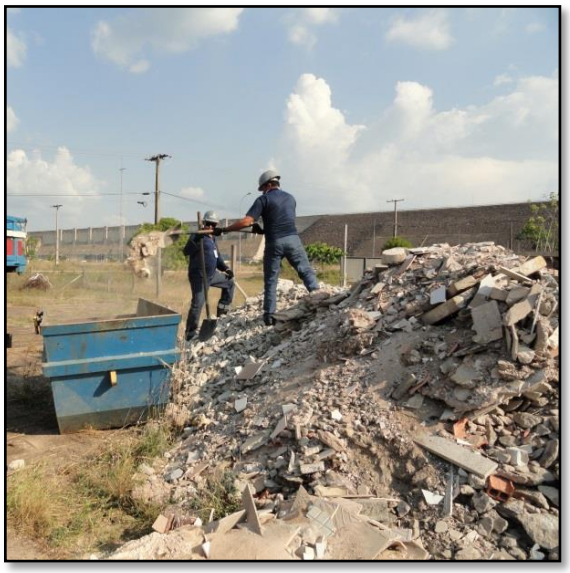


Figura 11 – Coleta de RCD no pátio de armazenagem da UHE Tucuruí.
Fonte: Os autores.

Os resíduos passaram por uma pequena triagem, onde não foi detectado nenhum material contaminante, sendo classificado de acordo com a Resolução CONAMA nº 307/2002, como pertencentes à Classe A.

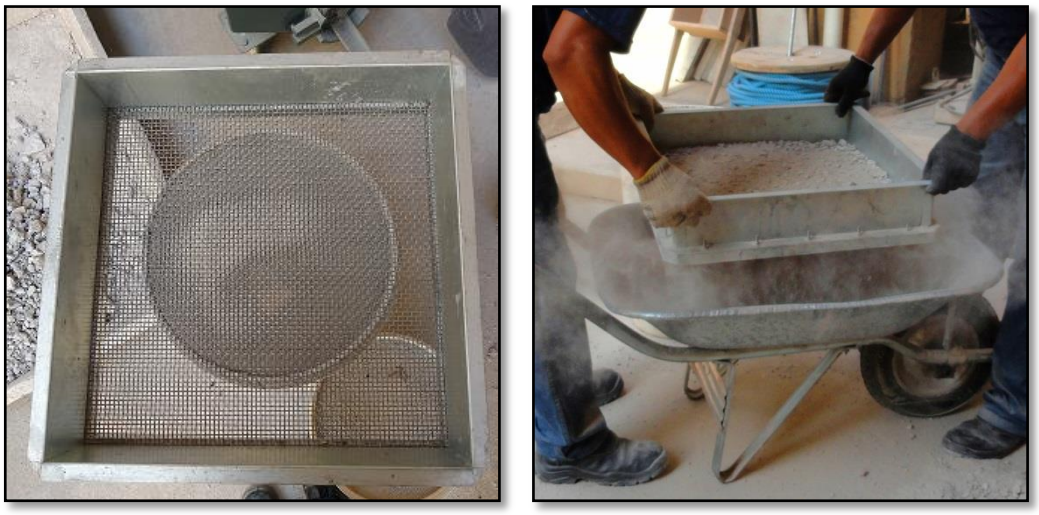
6.2.1.2 Trituração do Resíduo

Para a realização desta etapa utilizou-se o equipamento para moagem da Eletrobras/ Eletronorte. O moinho/misturador de argamassa ANVI500, também conhecido como moinho de rolo, foi manuseado pelos profissionais da empresa e os colaboradores, que ajudaram depositando os resíduos dentro do equipamento com um carrinho de mão, conforme ilustrado na Figura 12.

Figura 12 - Moinho usado para triturar o resíduo.
Fonte: Os autores.

Este processo decorreu durante uma hora ininterrupta, e posteriormente a isso, todo o resíduo triturado foi retirado do equipamento e depositado em um recipiente.

Como o objetivo desse procedimento era a produção de agregado miúdo, a faixa granulométrica desse material foi limitada em passante na peneira com abertura de malha de 4,8mm (Figura 13a). O material que ficava retido era armazenado para ser levado novamente para dentro do moinho. Na Figura 13b pode ser observado o processo do peneiramento do RCD triturado.



(a) **(b)**

Figura 13 – Peneiramento do RCD moído.
Fonte: Os autores

6.2.1.3 Seleção das amostras

As amostras separadas para os ensaios de caracterização foram coletadas obedecendo aos critérios da ABNT NBR NM 26:2009, o qual descreve este processo.

Estas amostras foram posteriormente misturadas e quarteadas visando atender as especificações da ABNT NBR NM 27:2001, que prescreve a redução de amostra de campo de agregados para Ensaio de laboratório.

6.2.2 Procedimentos Intermediários

Com o material processado adequadamente, a próxima etapa consiste da caracterização física dos agregados miúdos utilizados, submetendo-os a ensaios, de acordo com as normas vigentes, com o intuito de conhecer suas propriedades.

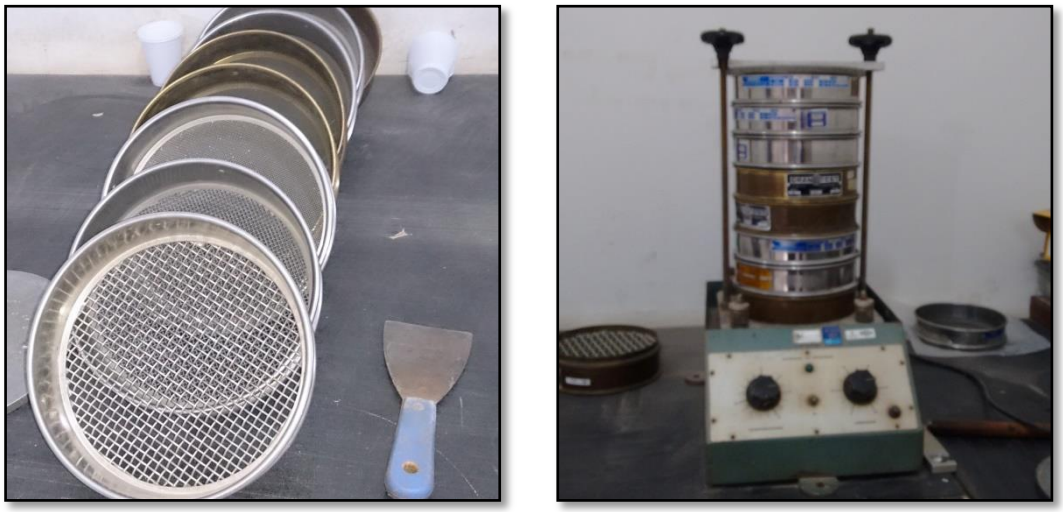
Os resultados dos ensaios necessários, conforme a ABNT, implicam na aprovação dos agregados para a produção de argamassas.

Para realização dos ensaios de caracterização foram coletadas amostras de agregado miúdo proveniente de RCD e Areia Natural para realizar a comparação das características de ambos.

6.2.2.1 Ensaio de Determinação da Composição Granulométrica

A análise granulométrica do agregado miúdo é de grande importância para as misturas cimentícias, pois influencia de maneira abrangente suas propriedades. Este parâmetro consiste na determinação das dimensões das partículas e das proporções relativas em que elas se encontram na composição. As amostras de agregados de RCD e de agregado natural foram caracterizadas quanto à distribuição granulométrica, através de ensaios de peneiramento (ABNT NBR NM 248:2003).

Estas amostras obtidas pelo processo de quarteamento foram submetidas à secagem em estufa até massa constante, para assim, proceder à análise granulométrica. Para a realização do ensaio foram utilizadas as peneiras da série normal com aberturas inferiores a 4,8 mm, e a peneira de série intermediária 0,075 mm (Figura 14a), usando peneiramento mecânico (Figura14b). Este procedimento foi realizado no Laboratório de Engenharia Civil do Campus Tucuruí.



(a) **(b)**

Figura 14 – Equipamento utilizados no Ensaio de Granulometria
Fonte: Os autores

O material retido em cada peneira foi pesado utilizando uma balança digital de precisão de 0,01g. Após o ensaio de peneiramento fez-se o preenchimento da Tabela granulométrica e determinação do módulo de finura e o diâmetro máximo do agregado.

6.2.2.2 Ensaio de determinação da Massa Específica

Este ensaio foi realizado de acordo com a ABNT NBR NM 52:2009, obedecendo todas as etapas desde a preparação das amostras até o procedimento do ensaio.

Para realização do ensaio fez-se inicialmente a preparação da amostra, utilizando 1 kg de agregado natural e reciclado. Colocou-se a amostra em um recipiente, cobrindo-a com água, deixando em repouso por 24 horas. Posteriormente realizou-se o processo de secagem de maneira uniforme da mesma.

Após a secagem, utilizando cone metálico, colocou-se o agregado no molde, procedendo à compactação suavemente na superfície com 25 golpes, conforme Figura 15a. Destaca-se que este procedimento deve ser realizado em intervalos frequente de tempo até que o cone de agregado miúdo desmorone ao retirar o molde (Figura 15b).

(a) **(b)**

Figura 15 – Cone de agregado miúdo reciclado após retirada do molde.
Fonte: Os autores.

A amostra utilizada para o ensaio foi de 500,1 g, transferida para o balão volumétrico, fazendo a aferição até atingir 500 ml e posterior pesagem do conjunto. Os mesmos foram mantidos em um banho a temperatura constante de (20± 2)ºC, por 1 hora (Figura 16a).

Após esse período fez-se novamente a pesagem do conjunto (Figura 16b), e em seguida, as amostras foram retiradas do balão volumétrico e levadas para a estufa (105± 5)°C até atingir massa constante. Com as amostras à temperatura ambiente, fez-se a pesagem das mesmas.

Figura 16 – Balão volumétrico com as amostras de agregado de RCD.
Fonte: Os autores

O cálculo final da massa específica foi realizado de acordo com a Equação 1:

$$d_3 = \frac{m}{(V - V_a) - \frac{m_s - m}{\rho a}} \qquad \text{(Equação 1)}$$

Onde:

d_3 - Massa específica do agregado, em gramas por centímetros cúbicos;

m - Massa da amostra seca em estufa, em gramas;

V - Volume do frasco, em centímetros cúbicos;

V_a - Volume de água adicionado ao frasco, em centímetros cúbicos;

m_s - Massa da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas;

ρ_a - Massa específica da água, em gramas por centímetro cúbico.

6.2.2.3 Ensaio de Determinação da Massa Unitária

Este ensaio tem o objetivo de determinar a massa unitária do agregado miúdo no estado solto, fundamentado na ABNT NBR NM 45:2006. Ressaltando que, para a realização do ensaio, todas as amostras foram previamente secas em estufas com capacidade de temperatura de (105º ± 5)ºC.

Procedeu-se a execução do ensaio de acordo com o método C, descrito na norma. A amostra foi transferida para o recipiente com auxílio de uma pá metálica, fazendo-se o lançamento a uma altura de queda de aproximadamente 12 cm do topo do recipiente, mantendo-se constante a altura até completar seu volume.

Posteriormente, rasou-se o recipiente com uma régua metálica para remover o excesso, de forma a deixá-la nivelada em relação às bordas do recipiente. O conjunto (recipiente e material) foi pesado e os resultados registrados, sendo o procedimento repetido por três vezes, obtendo-se o valor da massa unitária através da Equação 2.

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V} \qquad \text{(Equação 2)}$$

Onde:

ρ_{ap} - Massa unitária do agregado, em quilogramas por metro cúbico;

m_{ar} - Massa do recipiente mais o agregado, em quilogramas;

m_r - Massa do recipiente vazio, em quilogramas;

V - Volume do recipiente, em metros cúbicos.

6.2.2.4 Ensaio de Absorção

Simultaneamente aos ensaios de massa específica, os ensaios de absorção de água pelos agregados foram executados, sendo adotados os procedimentos prescritos na ABNT NBR NM 30:2001. Por meio da Equação 3 obteve-se a absorção de água.

$$A = \frac{m_s - m}{m} \times 100 \qquad \text{(Equação 3)}$$

Onde:

A = porcentagem de água, em porcentagem;

$\mathbf{m_s}$ = massa da amostra saturada superfície seca, em gramas;

$\mathbf{m_1}$ = massa da amostra seca em estufa, em gramas;

6.2.3 Procedimentos Finais

6.2.3.1 Dosagem e Preparação da Argamassa

Diante dos resultados obtidos pelos ensaios de caracterização com os agregados reciclados (RCD) e Areia Natural, iniciou-se o processo de definição dos traços experimentais.

Durante a concepção desta pesquisa buscou-se sempre adequar o material proposto para que a sua utilização fosse o mais similar possível do convencional, com o intuito de facilitar o uso prático em construções locais. Levando isto em consideração, optou-se por utilizar um traço de 1:5 (cimento: agregado) adotado para a utilização tanto em chapisco quanto para a camada única. Vale ressaltar que o traço adotado, é o predominantemente utilizado na região (Tucuruí-Pa).

A quantidade de água de amassamento foi definida com o auxílio de um profissional experiente, por meio de uma análise da trabalhabilidade da mistura, simulando uma situação real com a utilização de RCD como agregado miúdo em substituição total da Areia Natural. Os valores de a/c são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Relação a/c adotadas

Relação a/c	
Chapisco	1,160
Camada única	1,076

Visando à aplicação tecnológica dos agregados reciclados, alguns pesquisadores (LEITE, 2001; REIS, 2009) definiram dois procedimentos principais de dosagem: a compensação adicionando-se parte da água absorvida pelo agregado à água de amassamento ou realizando-se a pré-saturação do agregado reciclado. Nesta pesquisa optou-se por realizar a compensação da água na análise da trabalhabilidade da mistura.

Considerando a proposta do trabalho em garantir a praticidade na substituição do agregado miúdo convencional por um reciclado, optou-se por utilizar apenas a substituição de 100%, sem testar demais porcentagens, deixando o foco da pesquisa nas propriedades dessa argamassa, buscando garantir a viabilidade técnica da mesma.

A preparação da argamassa se procedeu em dois locais, a UHE Tucuruí e o laboratório de Engenharia Civil da UFPA. Primeiramente, a produção da argamassa ocorreu na UHE Tucuruí, que conta em seu quadro de prestadores de serviço profissionais especializados, estes assessorando a produção da mistura.

A preparação da argamassa utilizada para os ensaios de consistência e de resistência mecânica foram realizados no Laboratório de Engenharia Civil da UFPA e seu procedimento de acordo com a ABNT NBR 13276:2002, que descreve o preparo da mistura e a realização da determinação do índice de consistência.

Obtida a mistura, a mesma foi submetida ao ensaio de índice de consistência e moldagem dos corpos de prova para realização do ensaio de resistência á compressão, conforme serão destacados posteriormente.

6.2.3.2 Ensaio de Aderência

O ensaio de resistência de aderência à tração é importante para verificar a interação entre as camadas constituintes do revestimento (base, camada de ligação, revestimento), determinando o valor da tensão de aderência máxima que o revestimento suporta, assim como qual a interface do revestimento que apresenta menor resistência às tensões atuantes no revestimento.

Para a avaliação da resistência de aderência do revestimento de argamassa utilizou-se a ABNT NBR 13528:2010, que descreve o procedimento adequado para a realização deste ensaio.

De acordo com esta norma, o substrato, ou seja, a superfície sobre a qual será aplicado o revestimento de argamassa pode ser, por exemplo, parede de alvenaria (bloco de concreto ou tijolo cerâmico) e/ou superfície de concreto (estrutura ou placa).

Desenvolveu-se este procedimento na UHE Tucuruí, iniciando com a construção das duas superfícies: a parede de blocos de concreto (Figura 17a) e a placa de concreto (Figura 17b). Ambos os substratos foram construídos com os materiais convencionais e com o auxílio de pedreiros experientes.

(a) **(b)**

Figura 17 – Superfícies para ensaio de aderência.
Fonte: Os autores.

A parede apresentava dimensões de aproximadamente dois metros de altura e um metro de largura com blocos de concreto de dois furos. A placa foi construída com um metro de largura e um metro de altura, tendo uma espessura de três centímetros. Sob a superfície de cada substrato foi aplicado uma camada de chapisco e posterior aplicação da camada única.

Utilizando o cimento CP-IV 32 e o agregado miúdo reciclado, foi produzida uma argamassa para ser aplicada como camada de chapisco, na parede de blocos de concreto (Figura 18a) e na placa de concreto (Figura 18b), construídas especificamente para a realização do ensaio de aderência.

(a) **(b)**

Figura 18 – Aplicação do chapisco nas superfícies.
Fonte: Os autores.

Respeitado o tempo de cura do chapisco (em torno de 72 horas), fez-se a produção da segunda argamassa para ser aplicada como camada única. O material foi aplicado em uma camada de aproximadamente 20 mm, na parede (Figura 19a) e na placa (Figura 19b).

(a) **(b)**

Figura 19 – Aplicação da camada única para ensaio de aderência.
Fonte: Os autores.

Na idade de 28 dias foi então realizado o ensaio de determinação da resistência de aderência à tração, conforme prescrições da ABNT NBR 13528:2010. Com auxílio de uma furadeira acoplada a uma broca tipo serra-copo de 50 mm de diâmetro, foram executados os furos para retirada do corpo de prova na parede (Figura 20a) e na placa (Figura 20b). Nesta etapa destaca-se a distribuição aleatória dos furos, devendo seguir a proporção entre as áreas de superfícies de blocos e de juntas do substrato.

(a) **(b)**

Figura 20 - Execução dos furos.
Fonte: Os autores.

Após limpeza da superfície, foi colada uma pastilha circular com uma resina epóxi, poliéster ou similar. Constatou-se que algumas colas não aderiam adequadamente à pastilha, sendo necessário realizar alguns testes com diferentes materiais. A pastilha dispõe de um acoplamento para o equipamento de tração.

Decorridas às 24 horas da colagem, o aparelho de arrancamento (dinamômetro de tração) dotado de dispositivo para leitura de carga da marca SOLOTEST, foi acoplado a cada pastilha, com aplicação lenta e progressiva da carga até a ruptura do corpo de prova. Os ensaios foram realizados tanto na parede (Figura 21a) quanto na placa (Figura 21b).

(a) **(b)**

Figura 21 – Ensaio de aderência
Fonte: Os autores.

A resistência potencial de aderência à tração foi determinada por meio da Equação 4.

$$\boldsymbol{R = \frac{P}{A}} \qquad \text{(Equação 4)}$$

Onde:

R = resistência potencial de aderência à tração (MPa);

P = carga de ruptura (N);

A = área do corpo de prova (mm²).

A ABNT NBR 13528:2010 apresenta algumas formas de ruptura, assim sendo, após a extração de cada corpo de prova, foi registrada a carga de ruptura em kgf e analisada a situação em que cada testemunho extraído melhor se adequava.

As formas de rupturas de acordo com a ABNT NBR 13528:2010 podem ser observadas na Figura 22.

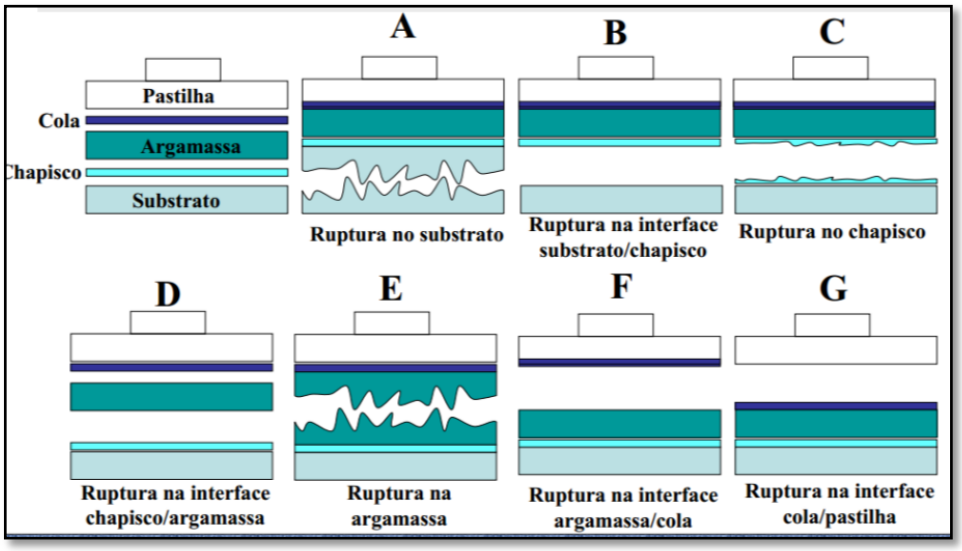


Figura 22 – Formas de ruptura.
Fonte: Adaptado da NBR 13528:2010.

Com os corpos de prova ainda acoplados nas pastilhas, os materiais foram levados para o laboratório, e efetuada uma pesagem inicial, sendo, em seguida, as pastilhas levadas à estufa para a posterior pesagem, obtendo-se a umidade do revestimento no momento de realização do ensaio.

6.2.3.3 Índice de Consistência

A preparação da argamassa foi realizada no laboratório de Engenharia Civil da UFPA – Campus Tucuruí, para então ser executado o ensaio de determinação do índice de consistência, de acordo com as diretrizes da ABNT NBR 13276:2002.

Nesse ensaio, com a mostra de argamassa realizou-se a moldagem em uma fôrma tronco cônica (base maior: ø=12,5 cm base menor: ø=8,0 cm; altura: 6,5 cm) posicionada sobre uma mesa de ensaio plana (*flow table*) com manivela (padrão), demonstrada na Figura 23. Neste processo, a argamassa foi colocada na forma em três camadas de mesma altura, e, com soquete, foram aplicados 15, 10 e 5 golpes uniformes e homogeneamente distribuídos, respectivamente nas camadas.

Figura 23 – Tronco cônico sob a *flow table*.
Fonte: Os autores.

Após o preenchimento da fôrma, a mesma foi retirada e, em seguida, fez-se a introdução de impactos sucessivos a partir de quedas padronizadas, sendo dados 30 golpes em 30 segundos, provocando o espalhamento do cone da argamassa.

Com o paquímetro, tomaram-se os três diâmetros em pares de pontos uniformemente distribuídos ao longo do perímetro, então pela média dessas medidas calcula-se o índice de espalhamento. Este procedimento pode ser visualizado na Figura 24.

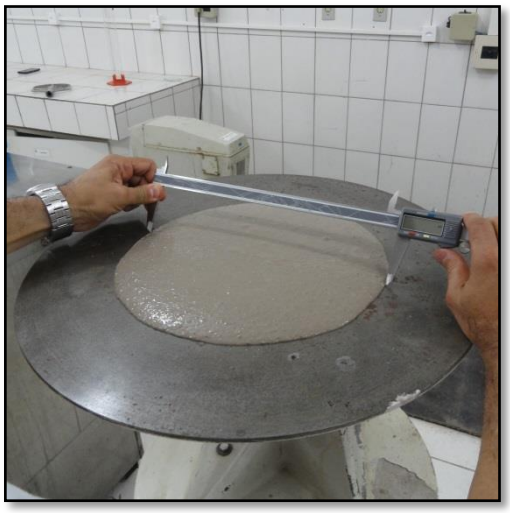


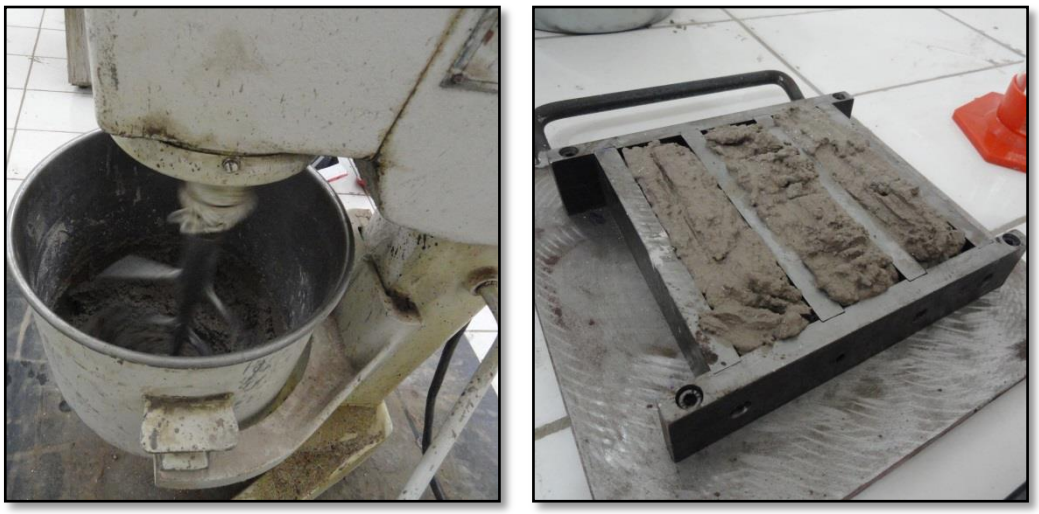
Figura 24 – Medição com o paquímetro.
Fonte: Os autores.

6.2.3.4 Ensaio de Resistência à Compressão

Para a realização deste procedimento, utilizou-se as instalações do laboratório de Engenharia Civil da UFPA – Campus Tucuruí. Após a determinação do Índice de Consistência das argamassas, procedeu-se a moldagem das barras, utilizando forma prismática 4x4x16 cm, para o ensaio de resistência à compressão de acordo com a ABNT NBR 13279:2005, norma esta que descreve o procedimento de produção dos corpos de prova, com sua posterior ruptura.

Foram produzidas argamassas contendo 100% de RCD como agregado miúdo e contendo Areia Natural, utilizando a argamassadeira de 5 litros (Figura 25a). Inicialmente, optou-se por realizar uma moldagem de referência com Areia do Instituto de Pesquisa tecnológica (IPT), mas devido a problemas durante a obtenção do material, optou-se pela utilização da Areia Natural para simular uma situação cotidiana, servindo como um comparativo da influência dessa substituição.

A moldagem foi executada em duas camadas aproximadamente iguais de argamassa, sendo que cada camada foi submetida a 30 golpes com o "*flow table*", podendo ser observado o molde com a argamassa de RCD na Figura 25b.



(a) **(b)**

Figura 25 – Produção e moldagem da argamassa com RCD.
Fonte: Os autores.

Posteriormente realizou-se o rasamento com auxílio de uma régua metálica, conforme mostrado na Figura 26. É importante ressaltar que este ensaio foi adaptado devido a não existência de mesa de adensamento padronizada para o referido ensaio. Para a mistura

não perder umidade para o meio, a forma foi coberta com uma película plástica e deixada em uma sala com temperatura de 21 ±1C°.

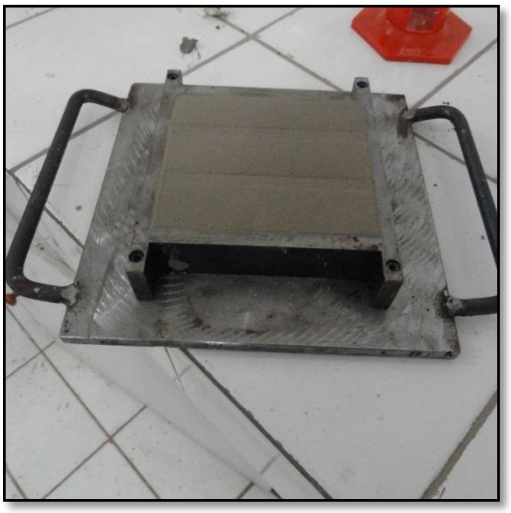


Figura 26 - Após o rasamento do molde.
Fonte: Os autores.

Procedeu-se a desmoldagem respeitando o tempo de 48 ± 24 horas, indicado pela ABNT NBR 13279:2005. As barras 4x4x16 foram cortadas com auxílio de serra circular, como ilustrado na Figura 27, e atendendo as dimensões dos corpos de prova prescritas na norma (4x4x4 cm). Por meio deste procedimento obteve-se 6 corpos de prova cúbicos para cada idade a ser ensaiada.

Figura 27 – Corte das barras com serra circular.
Fonte: Os autores.

Adotou-se a cura recomendada na ABNT NBR 13279:2005, executada em atmosfera de laboratório, apresentando temperatura do ar de (23 ±2)ºC e umidade relativa do ar de (60 ±5)%, permanecendo nesta condição até o momento de ruptura.

As rupturas foram realizadas nos corpos de prova nas idades de 7, 14 e 28 dias. Ao alcançar a idade de cada ruptura os mesmos foram levados à prensa para a realização do ensaio de compressão, adotando os procedimentos da norma supracitada, conforme ilustrado na Figura 28, e posterior registro dos resultados mostrados na prensa.

Figura 28 – Equipamento de ensaio de compressão axial.
Fonte: Os autores.

6.2.3.5 Microscopia Eletrônica de Varredura

Durante a produção da argamassa contendo RCD, foi realizado um procedimento não normatizado, a fim de constatar o comportamento do material em relação a sua capacidade expansiva. Este experimento empírico consistiu na construção de uma fôrma de madeira (sem dimensão definida), que foi preenchida com o material, e observado o seu desenvolvimento durante o processo de cura, até os 28 dias.

Analisando o comportamento do material, notou-se uma relativa expansão em relação ao estado inicial do mesmo, e diante desta verificação, buscou-se a realização de ensaios normatizados que corroborassem esta hipótese. Para tanto, optou-se pela realização da microscopia eletrônica de varredura nas amostras de argamassa.

As amostras da argamassa com RCD foram analisadas quanto a sua microestrutura no Microscópio Eletrônico de Varredura, por elétrons retroespalhados, modelo TM 3000, marca Hitachi, utilizando 15 kV, acoplado com EDS modelo Swift ED 3000, marca Oxford Instruments, observe na Figura 29 o equipamento utilizado. A análise foi realizada no

Laboratório de Metalografia do Curso de Engenharia de Materiais do Instituto Federal do Pará, Campus Belém.

Figura 29 - Equipamento de microscopia eletrônica de varredura (MEV).
Fonte: Os autores

Para realização deste ensaio, os fragmentos das amostras retirados dos corpos de prova de argamassa, tiveram suas superfícies de ruptura recoberta com vapor de ouro (plasma; material ionizado), isto é, ouro na forma ionizada, este processo é denominado metalização da amostra. Este procedimento serve para facilitar a leitura, pois o ouro é um elemento condutor. Neste processo, ocorre um bombardeio de elétrons na amostra, que irá produzir a imagem ampliada na tela do computador.

Foram utilizadas no ensaio duas amostras, sendo a identificação de amostra 1 e 2, denominadas conforme o posicionamento no equipamento. Observe na Figura 30 o posicionamento das amostras.

Figura 30 – Posicionamento das amostras no equipamento.
Fonte: Os autores

Como critério de análise, fez-se a seleção do ponto com metalização mais eficiente, buscando uma melhor visualização, procedendo assim, a ampliação a partir da região central em cerca de 105 vezes. Pela imagem, foi selecionado pontualmente cada um destes materiais distintos para análise individual dos componentes químicos.

A composição química da amostra foi obtida via análise de espectroscopia de energia dispersiva (EDS), acoplado ao MEV.

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1 ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA

Na Tabela 6 estão especificados os resultados do Ensaio de Determinação da Composição Granulométrica do RCD. Depois de triturados e previamente peneirados, foi utilizada no trabalho apenas a fração passante na peneira ABNT 4,8mm.

Tabela 6 – Resultado do Ensaio de Granulometria do RCD.

PENEIRA		MASSA RETIDA (g.)						(%)		
		Nº AMOSTRA					MÉDIA	RETIDA		PASSANTE
n.º	(mm)	RCD-01	RCD-02	RCD-03	RCD-04	RCD-05		INDIVIDUAL	ACUMULADA	
1/2"	**12,5**	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**0,0**	0,0	0,0	100,0
3/8"	**9,5**	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**0,0**	0,0	0,0	100,0
4	**4,76**	1,3	0,4	0,5	0,6	1,3	**0,8**	0,1	0,1	99,9
8	**2,38**	77,6	106,2	84,0	112,6	105,7	**97,2**	9,7	9,8	90,2
16	**1,19**	150,3	150,1	131,2	132,7	139,1	**140,7**	14,1	23,9	76,1
30	**0,60**	195,6	187,4	201,4	188,4	189,9	**192,5**	19,3	43,1	56,9
50	**0,30**	310,4	296,3	313,4	302,6	300,7	**304,7**	30,5	73,6	26,4
100	**0,15**	141,2	171,1	156,2	161,7	157,0	**157,4**	15,7	89,3	10,7
200	**0,075**	70,2	67,0	81,2	79,8	83,8	**76,4**	7,6	97,0	3,0
Fundo	**-**	53,5	21,6	32,0	21,6	22,5	**30,2**	3,0	100,0	0,0
Total		1.000,0	1.000,0	1.000,0	999,9	999,9	**999,9**	100,0		

Os agregados reciclados por serem provenientes de blocos de concreto, apresentaram uma composição granulométrica mais contínua, sendo considerada adequada para a utilização

em argamassas. A granulometria contínua e regular reduz o volume de vazios a ser preenchido pela pasta (menor consumo de aglomerantes), isto possivelmente levará a uma menor retração potencial da mistura. No Gráfico 5 está representado à curva granulométrica dos resultados obtidos no ensaio.

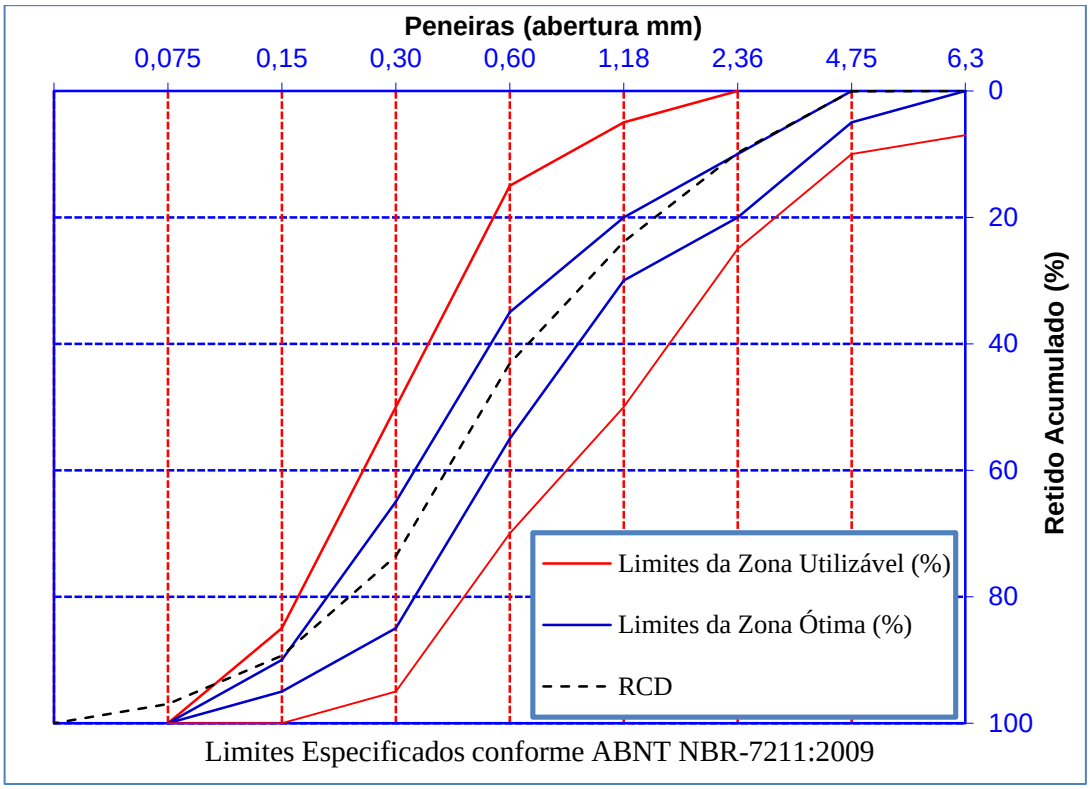


Gráfico 5 – Curva Granulométrica do RCD

O módulo de finura encontrado no ensaio para o RCD foi de 2,40. Ressalta-se que de acordo com o resultado apresentado no Gráfico 5 da curva granulométrica, demonstra-se que a curva do RCD encontrada, se localiza no interior da zona ótima, o que segundo a ABNT NBR 7211:2009, indica valores para o módulo de finura variando de 2,20 a 2,90.

Cincotto *et al.* (1995) também comentam que ao contrário da retração, a aderência da argamassa é influenciada favoravelmente pela granulometria fina do agregado. Sendo que isto pode ser detectado pela realização do ensaio de aderência.

A Tabela 7 apresenta os resultados do ensaio da determinação da composição granulométrica da Areia Natural. Destacando que o material foi passado previamente pela peneira ABNT 4,8mm, tal qual o RCD triturado.

Tabela 7 – Resultado do Ensaio de Granulometria da Areia Natural.

PENEIRA		MASSA RETIDA (g.)						(%)		
		Nº AMOSTRA					MÉDIA	RETIDA		PASSANTE
N.º	(mm)	AN-01	AN-02	AN-03	AN-04	AN-05		INDIVIDUAL	ACUMULADA	
1/2"	**12,5**	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**0,0**	0,0	0,0	100,0
3/8"	**9,5**	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**0,0**	0,0	0,0	100,0
4	**4,76**	13,3	10,1	12,4	13,1	5,1	**10,8**	1,1	1,1	98,9
8	**2,38**	35,2	34,3	35,5	35,5	36,7	**35,4**	3,5	4,6	95,4
16	**1,19**	77,3	78,0	85,8	80,5	83,4	**81,0**	8,1	12,7	87,3
30	**0,60**	202,8	202,8	216,2	209,5	216,5	**209,5**	21,0	33,7	66,3
50	**0,30**	507,7	509,8	501,7	502,2	510,7	**506,4**	50,6	84,3	15,7
100	**0,15**	144,5	146,7	131,2	142,3	131,5	**139,2**	13,9	98,2	1,8
200	**0,075**	13,2	12,7	12,1	11,7	11,4	**12,2**	1,2	99,5	0,5
Fundo	-	6,1	5,6	5,0	5,1	4,9	**5,4**	0,5	100,0	0,0
Total		1000,0	999,9	999,9	999,9	1000,0	**999,9**	100,0		

No Gráfico 6 as curvas granulométricas dos agregados, as curvas foram compostas com as porcentagens retidas acumuladas.

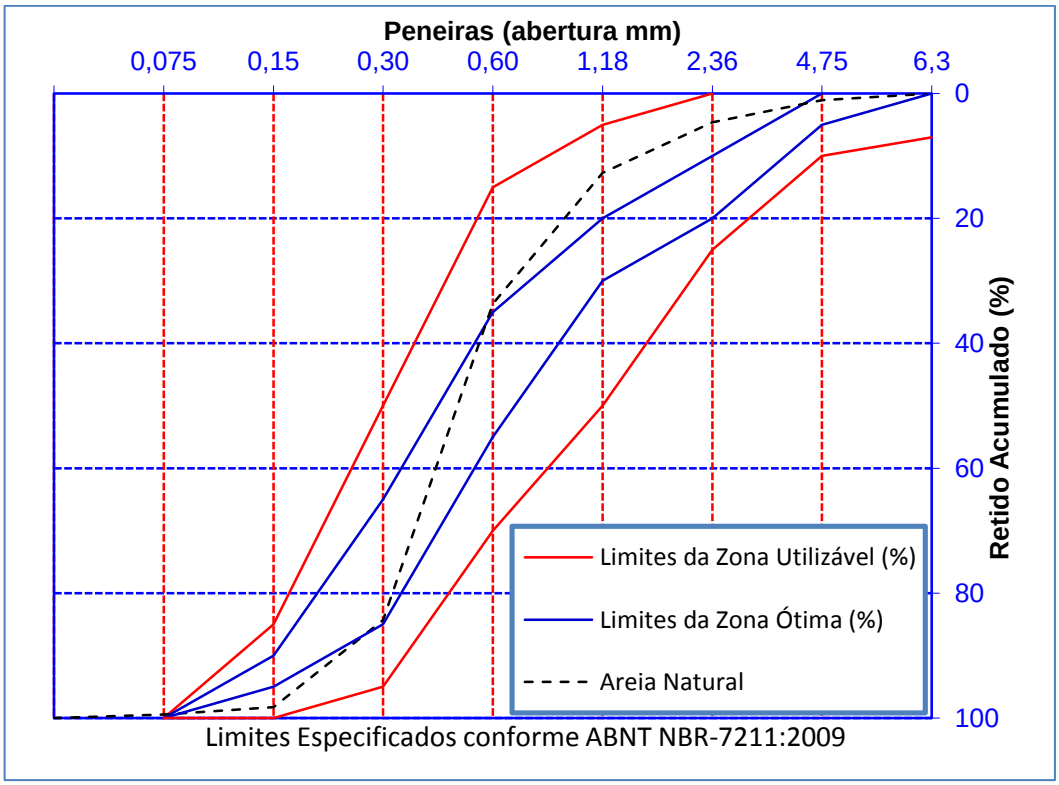


Gráfico 6 – Curva Granulométrica da Areia Natural

O módulo de finura encontrado no ensaio para a Areia Natural foi de 2,35. Portanto, em relação ao modulo de finura, tanto o resíduo quanto a Areia Natural apresentaram resultados que as classificam como areia média, por apresentarem módulo de finura entre dois e três, de acordo com Selmo (1986).

De acordo com a Tabela de composição granulométrica, somente o valor médio do RCD, atenderia as especificações da norma internacional ASTM 897-83 (1983). Haja vista que o material retido entre as peneiras de abertura 0,30 e 0,15 mm representou menos de 25% do peso e que o agregado não obteve mais de 50%, em peso, retido entre duas peneiras consecutivas.

Quanto à porcentagem de material passante na peneira n°200, os dois materiais apresentam teor de material pulverulento adequado, pois segundo as pesquisas de Selmo (1986), o limite máximo para material pulverulento em agregado miúdo seria equivalente a 5,0%.

A quantidade deste material pulverulento é bem superior no RCD que na Areia Natural, o que faz com que as argamassas produzidas com resíduos consumam mais água, em contrapartida, desde que sejam utilizados métodos compensatórios de água estas argamasas podem produzir materiais que apresentam maior trabalhabilidade, o que facilita a sua aplicação.

7.2 ENSAIO DE MASSA ESPECÍFICA

De acordo com os procedimentos de execução de ensaio com o RCD, conforme preconiza a ABNT NBR NM 52:2009, foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Resultados da massa específica do RCD.

Ensaio	**RCD**					
	RCD-01	**RCD-02**	**RCD-03**	**RCD-04**	**RCD-05**	**Média**
Massa Específica Aparente do Agregado Seco - d_1 (g/cm³)	2,21	2,22	2,18	2,22	2,14	**2,19**
Massa Específica do Agregado Saturado Superfície Seca (SSS) - d_2 (g/cm³)	2,38	2,39	2,37	2,41	2,31	**2,37**
Massa Específica do Agregado - d_3 (g/cm³)	2,56	2,58	2,60	2,61	2,58	**2,59**

O ensaio realizado com Areia Natural (AN) resultou nos valores apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Resultados da massa específica da Areia Natural.

Ensaio	Areia Natural					
	AN-01	**AN-02**	**AN-03**	**AN-04**	**AN-05**	**Média**
Massa Específica Aparente do Agregado Seco - d_1 (g/cm³)	2,64	2,66	2,57	2,65	2,59	**2,62**
Massa Específica do Agregado Saturado Superfície Seca (SSS) - d_2 (g/cm³)	2,65	2,67	2,60	2,66	2,60	**2,64**
Massa Específica do Agregado - d_3 (g/cm³)	2,67	2,68	2,64	2,67	2,62	**2,66**

Os resultados demonstraram que a massa específica dos agregados reciclados foi menor em relação aos naturais. Verificou-se que esta situação é comumente encontrada em pesquisas semelhantes, sendo justificado pela porosidade das partículas dos agregados reciclados e à presença de materiais cerâmicos na composição das amostras.

Estes resultados correlacionam-se também, à presença de argamassa aderida às partículas de agregado reciclado, que possui uma massa específica menor que o agregado natural.

Os dados deste ensaio são importantes para efeito de dosagem, determinando a massa do material, incluindo os poros internos, por unidade de volume. Por meio da massa específica pode-se também calcular o consumo de materiais utilizados na produção das misturas.

7.3 ENSAIO DE MASSA UNITÁRIA

Os resultados obtidos no ensaio estão relacionados na Tabela 10, para os agregados: Areia Natural e RCD triturado, considerando três determinações para cada material.

Tabela 10 – Resultado da determinação da massa unitária da AN e RCD.

Amostras	RCD			Areia Natural		
	RCD-01	**RCD-02**	**RCD-03**	**AN-01**	**AN-02**	**AN-03**
Volume do recipiente - V (cm³)	5.093	5.093	5.093	5.093	5.093	5.093
Massa do recipiente vazio - mr (g)	1.149	1.149	1.149	1.149	1.149	1.149
Massa do recip. + agregado - mar (g)	8.806	8.592	8.670	9.790	9.614	9.660
mar - mr	7.657	7.443	7.521	8.641	8.465	8.511
ρap =(mar-mr)/V	1,503	1,461	1,477	1,697	1,662	1,671
Média	**1,481**			**1,677**		

Verificou-se que a massa unitária do agregado de RCD, igual a 1,481 g/cm³ foi inferior ao agregado miúdo natural (1,677 g/cm³). Este resultado pode ser relacionado à porosidade dos grãos, resultando num material mais leve em relação a Areia Natural.

O resultado obtido se relaciona também, com o grau de adensamento e da compacidade do agregado, ou seja, a quantidade de vazios existentes entre as partículas. De posse dos valores de massa unitária, estes deverão ser levados em consideração no cálculo de dosagem da argamassa, servindo como parâmetro para transformar massa em volume ou vice-versa.

7.4 ENSAIO DE ABSORÇÃO

A absorção de água é uma propriedade que está diretamente relacionada com a porosidade do material. Vale ressaltar que os valores de absorção do agregado reciclado dependem também do tipo e forma de obtenção destes agregados.

A Tabela 11 mostra os resultados de absorção referente às amostras de agregado reciclado.

Tabela 11 – Absorção das amostras de RCD.

Amostras	**RCD**				
	RCD-01	**RCD-02**	**RCD-03**	**RCD-04**	**RCD-05**
Massa da amostra na condição SSS - m_s (g)	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0
Massa da amostra seca em estufa - m (g)	464,3	464,3	459,3	460,5	463,2
Absorção (%)	7,7	7,7	8,9	8,6	8,0
Média	**8,2**				

A Tabela 12 apresenta os resultados de absorção encontrados para Areia Natural. Estes evidenciam a diferença entre os dois agregados.

Tabela 12 - Absorção das amostras de Areia Natural.

Amostras	**Areia Natural**				
	AN-01	**AN-02**	**AN-03**	**AN-04**	**AN-05**
Massa da amostra na condição SSS - m_s (g)	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0
Massa da amostra seca em estufa - m (g)	497,7	498,7	495,3	498,7	497,8
Absorção (%)	0,5	0,3	1,0	0,3	0,4
Média	**0,5**				

Comparando os valores encontrados, tem-se que os agregados reciclados apresentaram percentuais de absorção de água significativamente maiores do que os percentuais verificados nos agregados naturais. Podendo considerar esta situação já esperada, considerando a maior porosidade dos agregados reciclados.

Os valores encontrados concordam com a afirmação feita por TAM *et al*, (2006, *apud* PEDROZO, 2008), constatando que, normalmente, os agregados reciclados apresentam maior absorção do que os agregados naturais. Sendo o intervalo dos resultados de absorção, aproximadamente entre 3% e 10 % para o agregado reciclado e menos de 1% até 5 % para os agregados naturais.

7.5 ENSAIO DE ADERÊNCIA

O ensaio de aderência à tração foi realizado em duas superfícies, conforme demonstrado durante a descrição do mesmo na metodologia. Para cada corpo de prova ensaiado, anotou-se a carga de ruptura, obtendo também, a sua respectiva área da seção, a fim de posteriormente ser realizado o cálculo da tensão. Além de obter estes valores, cada corpo de prova foi analisado e classificado de acordo com a forma de ruptura dos mesmos, como demonstrado no Quadro 2.

Quadro 2– Formas de Ruptura.

Formas de Ruptura	
A	Ruptura no substrato
B	Ruptura na interface substrato/chapisco
C	Ruptura no chapisco
D	Ruptura na interface chapisco/argamassa
E	Ruptura na argamassa
F	Ruptura na interface argamassa/cola
G	Ruptura na interface cola/pastilha

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 13749:2013.

Os resultados de resistência obtidos na parede de blocos de concreto podem ser observados na Tabela 13.

Tabela 13 – Resultados do ensaio de aderência à tração na parede de blocos de concreto.

Corpo de Prova	Carga (N)	Seção (mm²)	Tensão (Mpa)	Forma de Ruptura							Umidade (%)
				A	B	C	D	E	F	G	
1	410	1385,44	0,30	■							0,61
2	470	1385,44	0,34		■						0,62
3	380	1385,44	0,27		■						0,57
4	390	1385,44	0,28		■						0,87
5	560	1385,44	0,40	■							0,63
6	500	1385,44	0,36	■							0,61
7	370	1385,44	0,27				■				0,54
8	440	1385,44	0,32	■							0,61
9	540	1385,44	0,39		■						0,74
10	650	1385,44	0,47	■							0,83
11	460	1385,44	0,33	■							0,31
12	420	1385,44	0,30	■							0,40
Média			0,32								

Os resultados do ensaio na parede de concreto apresentaram resistência de aderência em média acima do especificado pela ABNT NBR 13749:2013. Pode ser constatado a partir dos corpos de prova (Figura 31a), que os rompimentos ocorreram, em sua maioria, no substrato (Figura 31b), demonstrando um desempenho satisfatório da aderência entre as camadas de chapisco e camada única, aplicados com a argamassa produzida com RCD.

(a) **(b)**

Figura 31 – Corpo de prova ensaiado.
Fonte: Os autores

Conforme cita a metodologia, este ensaio também foi realizado com o material aplicado na superfície de uma placa de concreto, e seus resultados podem ser observados na Tabela 14.

Tabela 14 - Resultados do ensaio de aderência à tração na placa de concreto.

Corpo de Prova	Carga (N)	Seção (mm²)	Tensão (Mpa)	Forma de Ruptura							Umidade (%)
				A	B	C	D	E	F	G	
1	590	1385,44	0,43	■							4,25
2	630	1385,44	0,45		■						4,31
3	620	1385,44	0,45	■							4,10
4	690	1385,44	0,50	■							3,97
5	640	1385,44	0,46	■							4,18
6	330	1385,44	0,24		■						3,89
7	410	1385,44	0,30		■						3,92
8	370	1385,44	0,27		■						4,22
9	320	1385,44	0,23					■			4,64
10	600	1385,44	0,43	■							4,15
11	640	1385,44	0,46	■							3,75
12	650	1385,44	0,47	■							3,94
Média			0,44								

Analisando os resultados, pode-se observar um aumento na resistência de aderência da placa de concreto em relação aos resultados obtidos na parede de concreto. As prováveis causas deste aumento pode ser o procedimento de ruptura, pois a placa foi posicionada na horizontal para a realização do ensaio, o que diminuía o esforço o qual o revestimento era solicitado. A rugosidade da interface da placa de concreto também pode ter contribuído para o incremento na resistência, aumentando a aderência do chapisco ao substrato.

Então, considerando o item 5.7.2 da ABNT NBR 13749:2013, que possui critério de desempenho especificado para aplicação de argamassa de revestimento, pode-se afirmar que os resultados estão aprovados, pois o revestimento com idade superior a 28 dias apresentou, tanto para sua aplicação em parede de concreto quanto para sua aplicação em uma superfície de uma placa, nove resultados superiores aos apresentados na Tabela 15, como limites de resistência para paredes internas e externas.

Tabela 15 - Limites de resistência de aderência à tração (Ra) para revestimentos de argamassa de paredes.

Local		Acabamento	Ra(MPa)
Parede	Interna	Pintura ou base para reboco	≥0,20
		Cerâmica ou laminado	≥0,30
	Externa	Pintura ou base para reboco	≥0,30
		Cerâmica	≥0,30
Teto			≥0,20

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 13749:2013

A aplicação da argamassa, com a substituição total de agregado natural por agregado proveniente de resíduos de construção e demolição, se mostrou adequada às aplicações, tanto em revestimentos de paredes internas, quanto em paredes externas.

7.6 ENSAIO DE CONSISTÊNCIA

O ensaio de consistência foi realizado com a mistura produzida para o ensaio de compressão axial. E os valores encontrados utilizando a argamassa com substituição total de agregado miúdo reciclado podem ser observados na Tabela 16.

Tabela 16 – Resultados do índice de consistência da argamassa com RCD.

Medidas	Diamêtro (mm)
1	294,45
2	296,48
3	289,28
Índice de Consistência	293,40

Quando foi realizado o preparo da argamassa contendo agregado miúdo de Areia Natural, primeiramente tentou-se utilizar o mesmo traço e a mesma relação água/cimento da argamassa de RCD. Porém, como o agregado de reciclado de construção e demolição tem um potencial de absorção maior, a mistura com Areia Natural se apresentou fluida, não sendo possível realizar o ensaio de consistência para a argamassa sem que antes houvesse um ajuste no traço adotado.

Por questões de manutenção do laboratório, não foi realizado o procedimento para a adequação do traço, o que garantiria que ambas as misturas apresentassem consistência semelhante, obtendo uma trabalhabilidade adequada.

7.7 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os resultados do ensaio de compressão axial com a argamassa produzida com substituição total de RCD podem ser observados na Tabela 17.

Tabela 17 – Resultados dos rompimentos dos corpos de prova com RCD.

	Nº de C.P.	Idade (dias)	Tensão (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coeficiente de Variação (%)
RCD	1	7	7,264	7,052	0,14	1,99
	1A		7,155			
	1B		7,072			
	1C		6,886			
	1D		6,956			
	1E		6,976			
	2	14	8,235	8,011	0,18	2,29
	2A		7,949			
	2B		7,897			
	2C		8,254			
	2D		7,874			
	2E		7,859			
	3	28	8,435	8,571	0,32	3,70
	3A		8,365			
	3B		8,917			
	3C		8,305			
	3D		9,032			
	3E		8,372			

Conforme descrito, também foram ensaiados corpos de prova utilizando a Areia Natural, sendo os resultados apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 - Resultados dos rompimentos dos corpos de prova com Areia Natural.

	Nº de C.P.	Idade (dias)	Tensão (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coeficiente de Variação (%)
AN	1	7	10,887	10,66	0,20	1,85
	1A		10,674			
	1B		10,691			
	1C		10,406			
	2	14	13,066	12,68	0,40	3,13
	2A		12,982			
	2B		12,306			
	2C		12,375			
	3	28	14,536	14,65	0,26	1,77
	3A		14,991			
	3B		14,388			
	3C		14,711			

Pode ser constatado que tanto as argamassas de RCD quanto as argamassas com Areia Natural houve um acréscimo na resistência com o decorrer das idades, tendência natural devida o processo de hidratação e o tempo de cura. Verificou-se que houve uma diminuição na resistência à compressão das argamassas produzidas com substituição total por agregado miúdo reciclado.

Entretanto, o valor alcançado pela argamassa de RCD não pode ser considerado desfavorável, já que as normas brasileiras não definem valores mínimos para esta propriedade. A norma ABNT NBR 13281:2005, que trata dos requisitos de Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos, apresenta uma classificação quanto à resistência à compressão, conforme a Tabela 19.

Tabela 19 – Resistência à compressão aos 28dias

Classe	Resistência à compressão (MPa)	Método de ensaio
P1	≤ 2,0	ABNT NBR 13279
P2	1,5 a 3,0	
P3	2,5 a 4,5	
P4	4,0 a 6,5	
P5	5,5 a 9,0	
P6	> 8,0	

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 13281:2005

Portanto, a da argamassa de RCD entra na classe P5, apresentando valores até 9 MPa, e a argamassa de areia natural se enquadra na P6 com resistência maior que 8 MPa. Pode-se tomar, então, a resistência à compressão axial como uma propriedade controladora da qualidade dos revestimentos com argamassas, uma vez que esta propriedade é de fácil avaliação. Mas pode-se restringir a utilização da argamassa de RCD para locais que necessitarem argamassa de revestimento com resistência a compressão maior que 8,5 MPa.

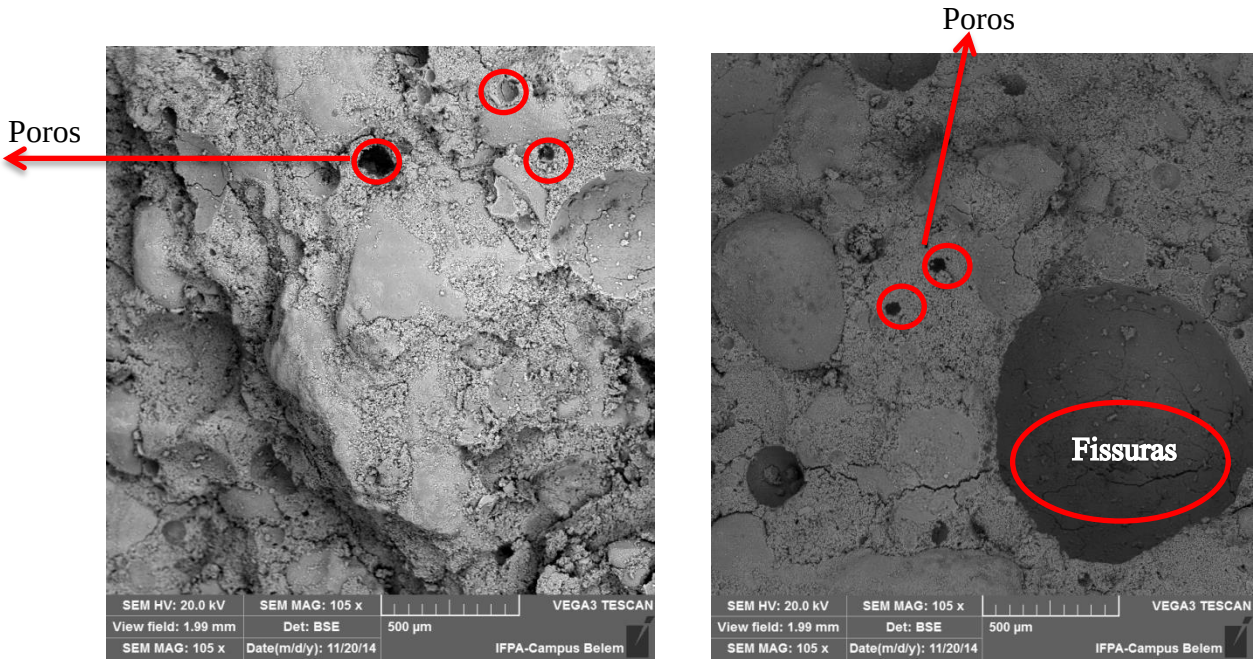
7.8 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA

Os resultados do MEV-EDS são apresentados a seguir. A observação e os resultados do EDS são importantes, pois servem para dar informações adicionais e ainda confirmar ou não os resultados encontrados por meio de Análise Térmica.

Conforme descrito no detalhamento do experimento, foram retirados amostras dos corpos de prova de argamassa contendo RCD, com a finalidade de analisar as suas

características. Com a ampliação em 105 vezes foi possível identificar os materiais: agregados e argamassa, visualizados pelos aspectos diferenciados da imagem.

Observe as imagens ampliadas em MEV correspondentes a amostra 1 (Figura 32a) e amostra 2 (Figura 32b).



(a) **(b)**

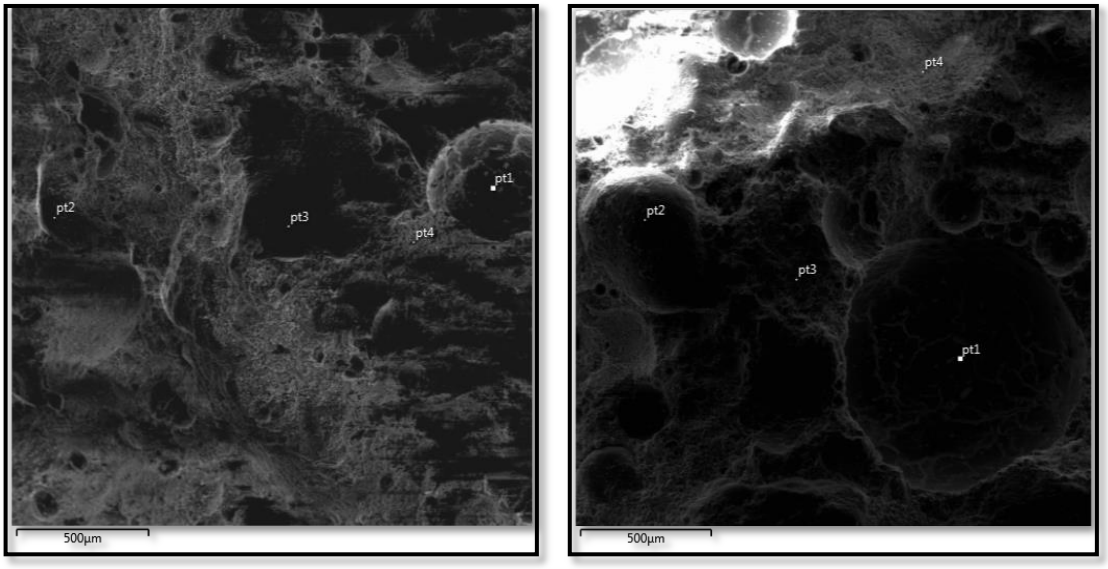
Figura 32 - Imagens em MEV das amostras, com aumento de 105 vezes.

A região delimitada na Figura 32 é representada na Figura 33. Nessa Figura, com ampliação de 105x, é possível observar a pasta de cimento que envolve o agregado, a porosidade da pasta e ainda presença de fissuras no agregado.

A micrografia da amostra 1, ilustrada na Figura 32a, com aumento de 105x, pode-se observar a pasta de cimento e agregados de pequena e maior dimensão, estes últimos em maior evidência. O detalhe da área indicada nesta imagem é apresentado na Figura 33a.

A Figura 32b também ilustra uma aproximação de 105x, na qual é possível observar agregados de menos dimensão envoltos em pasta de cimento. Pode-se analisar nesta pasta a porosidade do material, pois como relatado por diversos pesquisadores as argamassas são porosas.

Por conseguinte, para análise espectroscópica, e através dos pontos selecionados, identificou os diferentes elementos constituintes químicos das argamassas analisadas. Observe na Figura 33a os pontos selecionados da amostra 1 e na Figura 33b os pontos da amostra 2.



(a) **(b)**

Figura 33 – pontos selecionados para determinação da composição química.
Fonte: Os autores

Foi aplicado o EDS sobre estas estruturas para verificar sua composição, buscando associá-los com os produtos gerados durante a hidratação da argamassa. A Figura 34 ilustra a análise espectroscópica de toda a área da micrografia da amostra 1 representada na Figura 33a.

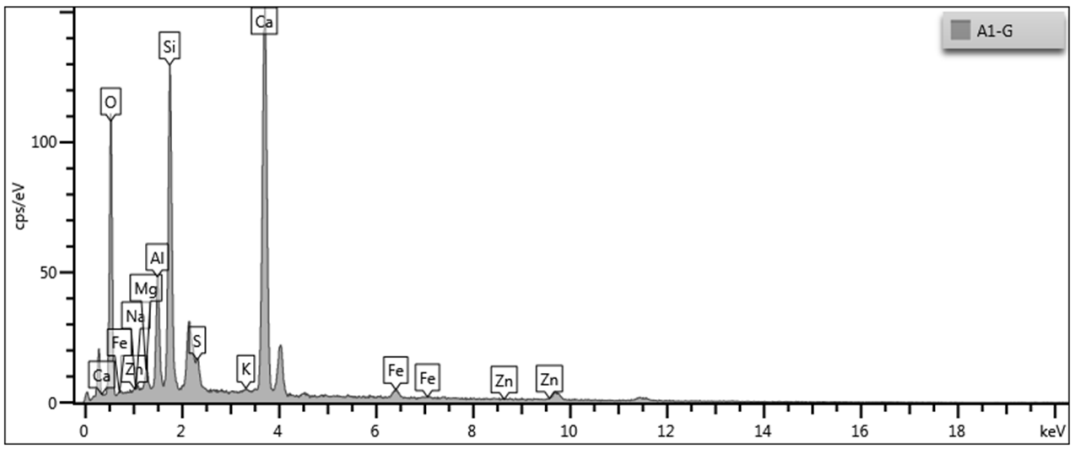


Figura 34 - Espectro de energia obtido pelo MEV-EDS para a amostra 1.

Nessa Figura pode-se identificar a pasta de cimento e água composta de magnésio (Mg), Silício (Si), Sulfato (enxofre), Cálcio (Ca), Ferro (Fe) e Oxigênio. Tendo predominância os picos de Cálcio (Ca), Silício (Si), Alumínio (Al) e Oxigênio (O).

A Figura 35 ilustra a análise espectroscópica de toda a área da micrografia da amostra 2 representada na Figura 32b.

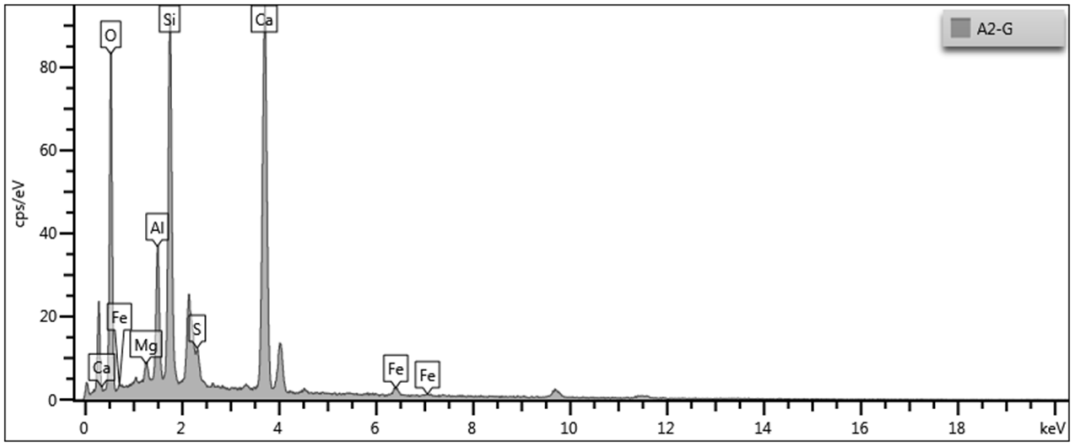


Figura 35 - Espectro de energia obtido pelo MEV-EDS para a amostra 2.

Nesse espectro observa-se a presença de magnésio (Mg), Silício (Si), Sulfato (enxofre), Cálcio (Ca), Mercúrio (Hg) e Ferro (Fe). O EDS dessa área apresenta predominância de Silício (Si) e principalmente Cálcio (Ca), devido a maior existência de pasta na região.

A presença de sulfato, tanto no EDS dessa imagem como no EDS da Figura 34, pode ser resultante da presença de vestígios da contaminação da argamassa, causada pelo ataque por sais através da ascensão de umidade por capilaridade. A existência de Magnésio (Mg), pode ser atribuída devido a processo de calcinação do cimento e/ou obtenção da areia utilizada na fabricação da argamassa. Já a existência de Mercúrio (Hg) pode ser atribuída ao processo de obtenção da areia que provavelmente é proveniente dos rios. A presença do alumínio pode ser atribuída à argila existente na amostra ou a areia utilizada na fabricação da argamassa.

Considerando a presença dos elementos químicos encontrados na analise MEV-EDS e a heterogeneidade dos resíduos de construção e demolição, os agregados provenientes destes resíduos podem apresentar diferentes teores de argilominerais, advindos das partículas de cerâmica, de pasta de cimento endurecida. A partir dos resultados obtidos e baseando-se na heterogeneidade do material utilizou-se como hipótese a presença destes componentes. A

ocorrência de argilominerais, como montmorilonita, ilita e caulinita é considerado um fator causador da expansão de argamassas.

Vale ressaltar, que para complementação destes resultados, seria fundamental a realização do ensaio de determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado, conforme a ABNT NBR 15577-5:2008, proporcionando a avaliação da potencialidade reativa dos agregados. Também seria necessário o ensaio de difração de Raios-X, e o ensaio de Fluorescência de Raios-X, para detectar a ocorrência destes componentes expansivos. Estes ensaios não foram possíveis realizar nesta pesquisa devido à indisponibilidade dos equipamentos necessários.

8 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

8.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os resultados obtidos e as discussões apresentadas, percebe-se a contribuição desta pesquisa para um melhor entendimento do comportamento dos agregados oriundos de RCD nas propriedades das argamassas, apresentando um alto potencial de utilização.

Este material pode ter um destino mais nobre, do que simplesmente ser depositado em locais inadequados. Muito embora, a maioria dos entulhos de construção civil possam ser considerados inertes, trata-se de um material estranho ao meio, causando modificação no ambiente onde for depositado. Os resultados desta pesquisa ressaltam as potencialidades que o entulho reciclado possui, quando utilizado como material alternativo para a própria fonte geradora.

Diante dos dados obtidos pelos ensaios realizados tanto com o agregado miúdo proveniente de RCD, quanto com o agregado natural, foi possível estabelecer algumas conclusões em caráter comparativo. De acordo com a granulometria os dois materiais apresentaram classificação como uma areia média, no entanto, o elevado teor de finos presentes no agregado reciclado influencia na trabalhabilidade da mistura no estado fresco.

Referente aos ensaios de massa específica e massa unitária, os valores encontrados para o agregado miúdo de RCD foram inferiores aos de Areia Natural. No ensaio de absorção,

no entanto, o RCD apresentou índices superiores aos da Areia Natural. Este efeito pode ser justificado pela porosidade das partículas dos agregados reciclados e pela presença de materiais cerâmicos na composição das amostras coletadas de resíduo.

Quanto à preparação da argamassa contendo RCD, a metodologia de se empregar um profissional experiente para a realização da dosagem da água, em um estudo preliminar de trabalhabilidade das argamassas, apresentou resultados bastante satisfatórios. Da dosagem resultaram argamassas bem trabalháveis e de fácil aplicação, o que facilitaria o seu emprego em obras convencionais.

Verificou-se que o agregado miúdo de RCD acarreta em maior demanda, maior quantidade de água para as argamassas. Isso pode ser justificado pela presença de materiais porosos (concretos, argamassas, blocos de concreto e materiais cerâmicos) na composição deste material.

O ensaio de aderência pode ser utilizado como um importante critério de qualidade para o emprego de argamassas de revestimento, haja vista que uma das funções primordiais do material é ser capaz de absorver e resistir aos esforços solicitados. A argamassa de RCD quando aplicada em dois substratos apresentou resultados satisfatórios, o que garantiriam a utilização de forma adequada tanto em paredes internas quanto externas.

Analisando os resultados do ensaio à compressão, apesar da argamassa de RCD apresentar valores relativamente inferiores, quando comparado com a argamassa de Areia Natural, esta ainda se encontra adequada para a aplicação. Pode-se tomar a resistência à compressão axial como uma propriedade controladora da qualidade dos revestimentos, uma vez que esta propriedade é de fácil avaliação.

Os resultados apresentados atenderam na sua totalidade aos requisitos exigidos como qualidade pelas normas em vigor, favorecendo o aproveitamento máximo deste resíduo na produção de argamassa de revestimento, considerando a substituição total do agregado natural por agregado de RCD.

Portanto, o aproveitamento de resíduos da construção civil apresenta vantagens sob o aspecto da sustentabilidade, podendo ser considerado como fator positivo para o meio ambiente, por meio da redução dos impactos ambientais causados pela geração de resíduos, com a diminuição dos descartes em lixões, além de abrir espaço para a utilização de um material alternativo, preservando, deste modo, as reservas naturais.

Salienta-se ainda que, com o adequado manejo, os agregados reciclados podem ser usados na preparação de argamassas, devendo o poder público incentivar o beneficiamento e a

reutilização dos resíduos de construção em benefício do meio ambiente e do futuro da própria humanidade.

Vale ressaltar, que a utilização da reciclagem pelo construtor ou empresa, expressa sua responsabilidade ambiental e atuação correta como gerador. Como destacado neste trabalho a situação adotada pela Eletrobras/Eletronorte, que investe em equipamentos e medidas na busca por soluções adequadas e eficientes para a destinação final dos resíduos gerados na UHE Tucuruí, podendo qualificar o empreendimento em parâmetros ambientais, concedendo a mesma alguns certificados.

8.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Considerando a importância dos estudos envolvendo a reciclagem dos gerados pelo setor da construção civil, aliado com o objetivo de contribuir para o prosseguimento e intensificação sobre este assunto, pode-se fazer algumas sugestões para trabalhos futuros.

Propõe-se realizar os demais ensaios de especificação prescritos pela NBR 13281, objetivando uma classificação completa do agregado miúdo reciclado. Considerando a resistência encontrada nos ensaios realizados, propõe-se o estudo da viabilidade técnica da substituição para produção de concretos, até mesmo para fins estruturais, sugerindo também a utilização dos resíduos resultantes de pesquisas realizadas no Laboratório da Faculdade de Engenharia Civil, na UFPA, Campus Tucuruí, na produção de novos materiais.

Na busca pelo benefício da sociedade, sugere-se o desenvolvimento do projeto que priorize a aplicabilidade de novos materiais produzidos com RCD em obras de ambiente público.

8.3 LIMITAÇÕES DURANTE A PESQUISA

Durante a fase experimental, existiram algumas limitações que dificultaram a avaliação de certas propriedades referente ao material em estudo. Destacando a indisponibilidade de equipamentos para realização de importantes ensaios, dentre estes, a mesa de adensamento por choque, sendo necessárias adaptações para a preparação da argamassa utilizadas nos corpos de prova, para posterior ensaio de resistência à compressão.

Alguns ensaios foram inviabilizados, pelo mesmo motivo tais como: teor de ar incorporado, densidade da argamassa, etc.

O processo de reforma e manutenção das instalações no Laboratório de Engenharia Civil da UFPA, também resultou na impossibilidade da correção do parâmetro de consistência para a argamassa produzida com Areia Natural.

Sendo necessário também o deslocamento para a capital Belém com a finalidade de realizar alguns procedimentos relacionados à pesquisa. Por falha durante a execução da leitura durante o ensaio de reatividade utilizando o método acelerado com barras de argamassa, os resultados não foram aproveitados. Com isso, propõe-se realização deste procedimento em trabalhos futuros.

9 REFERÊNCIAS

ABRAFATI – Associação Brasileira dos Fabricantes de Tintas. Disponível em: <http://www.abrafati.com.br/>. Acesso em: 18 de junho de 2014.

ABRECON- Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção e Demolição. **Relatório Pesquisa Setorial 2013**. Disponível em:< http://www.abrecon.com.br/>.Acesso em: 18 de junho de 2014.

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2012.** Disponível em: < http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2012.pdf >. Acesso em: 14 de maio 2014.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS: **ASTM – C125**: Standard Definition of Terms Relating to Concrete and Concrete Aggregates. West Conshohochen, 2014.

_____. **ASTM 897 – 83**: Specification for aggregate for job-mixed Portland. Easton, 1983.

ANGELIM, R. R.; ANGELIM, S. C. M.; CARASEK, H.; **Influência da adição de finos calcários, siliciosos e argilosos nas propriedades das argamassas e dos revestimentos.** V Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas (SBTA). Junho de 2003.

ARAÚJO, G. A. B. C.; **Contribuição ao estudo das propriedades de argamassas com saibro da região de Maceió (AL) para revestimentos.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 1995.

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

_____. **NBR 9935**: Agregados – Terminologia, Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 10004**: Classificação de resíduos, Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação do teor de água para obtenção do índice de consistência-padrão para ensaios. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 2002.

_____. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13528**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 13749**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 15116**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR NM 26**: Agregados – Amostragem, Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 27**: Agregados – Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR NM 30**: Agregado miúdo - Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR NM 45**: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR NM 52**: Agregado Miúdo - Determinação de massa especifica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

BAUER, E. **Sistemas de revestimento de argamassa – generalidades**. In: Elton Bauer. (Org.). Revestimentos de argamassa: características e peculiaridades. 1ed. Brasília: LEM-UnB e SINDUSCON-DF, 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 307, de 05 de julho de 2002**, com nova redação dada pela Resolução 448/2013. Estabelece diretrizes, critérios, procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Brasília, DF.

BRASIL. Lei Federal nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 04 de julho de 2014.

BERNARDO, A. S. M.; **Tijolos Ecológicos Fabricados com Resíduos de Demolição e Reformas da UHE Tucuruí.** Universidade Federal do Pará. Tucuruí. 2013.

BODI, J. **Experiência Brasileira com Entulho Reciclado na pavimentação**. In: RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, ALTERNATIVA ECONÔMICA PARA A PROTEÇÃO AMBIENTAL, 29. São Paulo, 1997. Anais. São Paulo: Núcleo de desenvolvimento de Pesquisas POLI/UPE, 1997.

CAMARGO, A. Minas de Entulho. Revista Téchne n0 15. Editora Pini. p. 15 Mar/Abr. 1995.

CARASEK, H. **Argamassas**. **In: Geraldo C. Isaia (Org./ Ed.). Livro** Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. **2 ed.** São Paulo: IBRACON. v. 2. Cap. 26. 2010.

CARNEIRO, A. M. P., **Contribuição ao estudo da influência do agregado nas propriedades de argamassas compostas a partir de curvas granulométricas**. Tese de D. Sc., Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 1999.

CARRIJO, P. M.; FIGUEIREDO, A. D. **Análise do desempenho mecânico de concretos moldados com resíduos de construção e demolição reciclados separados por densidade.** São Paulo: EPUSP, 10p. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP). BT/PCC/410. 2005.

CIDADE DE TUCURUÍ. **Galeria de Fotos da Vila Permanente**. Disponível em: < http://cidadedetucurui.com/inicio/vilapermanente/vilapermanente.htm>. Acesso em 27 de Setembro de 2014.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CARASEK, H. **Argamassas de Revestimento Características, propriedades e métodos de ensaio.** Publicação IPT n° 2378, São Paulo, 1995.

COMUNIDADE da Construção. Revestimento de Argamassa. Disponível em: <http://www.comunidadedaconstrucao.com.br/sistemas-construtivos/4/caracteristicas/o-sistema/61/caracteristicas.html> Acesso em 10 de Julho de 2014.

DUAILIBE, G. J. **Avaliação de propriedades hidrodinâmicas em materiais granulares e argamassas com cinza pesada e agregado reciclado.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Pós-Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis– SC, 2008.

ELETROBRAS ELETRONORTE. **Histórico da construção da Usina e das Eclusas.** Disponível em http://www.eln.gov.br. Acesso em 10 de Julho de 2014.

FERNANDEZ, J.A.B. **Caderno de Diagnóstico: Resíduos da Construção Civil**. Disponível em < http://www.cnrh.gov.br/projetos/pnrs/documentos/cadernos/02_CADDIAG_Res_Const_Civil.pdf>. Acesso em: 17 de dezembro de 2014.

FILOMENO, O. L., **Caracterização das argamassas de assentamento empregadas na região de Florianópolis e estudo comparativo entre argamassas de assentamento de**

cimento e cal e cimento e saibro. Dissertação de mestrado da Universidade Federal de Santa Catarina. 1993.

GROHMANN, M. Z.; **Redução do desperdício na construção civil: Levantamento das medidas utilizadas pelas empresas de Santa Maria.** Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria – RS. 1998.

HAMASSAKI, L. T.; SBRIGHI NETO, C.; FLORINDO, M. C. **Uso de entulho como agregado para argamassas de alvenaria**. In: WORKSHOP SOBRE RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO, 1996, São Paulo. Anais. São Paulo: EPUSP/ANTAC, 1997. 170 p. p.107–115.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo demográfico**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Acesso em: 21 de Julho de 2014.

ISAIA, G.C. **A evolução do Concreto estrutural. In: Geraldo C. Isaia (Org./ Ed.).** Livro Concreto: Ciência e Tecnologia. **1 ed.** São Paulo: IBRACON. v. 1. Cap. 01. 2011.

JADOVSKI, I. **Diretrizes Técnicas e Econômicas para Usinas de Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005. Disponível em:< http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/10156 >. Acesso em: 04 de julho de 2014.

JONH, V.M. **Reciclagem de Resíduos na Construção Civil: Contribuição á Metodologia de Pesquisa e Desenvolvimento**. Tese. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000. Disponível em: < http://www.ietsp.com.br/uploads/text/3/LV+Vanderley+John+-+Reciclagem+Residuos+Construcao+Civil.pdf >. Acesso em: 14 de maio 2014.

LANDI, F.R. **Argamassas de assentamento e revestimento.** Escola Politécnica da USP/BNH – CEF. Relatório final, agosto 86 – Julho 1987.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** 2001. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia, Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS, 2001.

LEVY, S. M., HELENE, P. R. L. **Vantagens e desvantagens de argamassas produzidas com entulho de obra, finamente moído.** São Paulo, EPUSP, Departamento de Engenharia da Construção Civil, 1997.

LIMA, J.A.R. **Proposição de Diretrizes para Produção e Normalização de Resíduo de Construção Reciclado e de suas Aplicações em Argamassas e Concretos.** Dissertação de Mestrado- Universidade de São Paulo. São Carlos, 1999. Disponível em: <http://www.ietsp.com.br/uploads/text/3/Dissert+Jose+Antonio+Ribeiro+de+Lima.pdf>. Acesso em: 14 de maio 2014.

MACIEL, L. L.; BARROS, M. M. S. B.; SABBATINI, F. H. **Recomendações para Execução de Revestimentos de Argamassa para paredes de vedação internas e externa e tetos.** São Paulo, 1998.

MAIA, E.M.; GAIA, A. **Impactos Ambientais Causados pelos Resíduos de Construção Civil no Município de Belém**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade da Amazônia. Belém, 2012. Disponível em: <http://www.unama.br/novoportal/ensino/graduacao/cursos/engenhariacivil/attachments/article/130/IMPACTOS%20AMBIENTAIS%20CAUSADOS%20PELOS%20RES%C3%8DDUOS%20DE%20CONSTRU%C3%87%C3%83O%20CIVIL%20NO%20MUNIC%C3%8DPIO%20DE%20BEL%C3%89M.pdf>. Acesso em: 14 de maio 2014.

MARTINELLI, Frederico Augusto. **Contribuição ao estudo de dosagem das argamassas mistas destinadas ao assentamento e revestimento de alvenarias.** São Paulo, EPUSP, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – CPGES. Escola de Engenharia de UFRGS, 1989.

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

MIRANDA, L. F. R.; ÂNGULO, S. C.; CARELI, E. D**. A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008.** Ambiente Construído, v. 9, n. 1, p. 57-71. Porto Alegre, 2009. Disponível em: <http://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/download/7183/4909>. Acesso em: 26 de abril de 2014.

NEVILLE, A. M.; **Propriedades do Concreto**. Tradução: Salvador E. Giamusso, 2 ed. rev. Atual, São Paulo: Ed. PINI, 1997.

OLIVEIRA, F. M.; BRUNHARA, B. S.; **Cultura do desperdício**. Universidade de Ribeirão Preto. SIMPOSIO INTERNACIONAL DE CIÊNCIAS INTEGRADAS DA UNAERP CAMPUS GUARUJÁ. Ribeirão Preto, 2006.

OLIVEIRA, M. B. **Verificação de algumas propriedades de argamassas com saibro da região de Uberlândia para assentamento de tijolos cerâmicos.** São Paulo, EPUSP, 1989. Dissertação de mestrado.

PATTO, A. L. D. B.; **Minimização de Impactos Ambientais com a Utilização de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) como agregados na fabricação de Blocos de Concreto.** Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Taubaté, Taubaté/SP. 2006.

PEDROZO, R. F. E. **Influência da substituição do agregado miúdo natural por agregado reciclado fino em propriedades de argamassas e concretos.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis – SC, 2008.

PINTO, T. de P. – **Utilização de resíduos de construção estudo do uso em argamassas.** Dissertação de mestrado Universidade de São Carlos - SP 1986.

_____. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de construção Civil. São Paulo, 1999.

REIS, C. N. **Influência da utilização de agregado miúdo de RCD na aderência aço-concreto reciclado.** 2009. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana/BA, 2009.

REUNION INTERNATIONALE DES LABORATOIRES ET EXPERTS DES MATERIAUX, SYSTEMES DE CONSTRUCTION ET OUVRAGES *(*RILEM) - **MR – 3 -** The compex workability consistence - plasticidade. St, Ed. France, 1982.

RIBEIRO, N. P.; **Contributo para uma 'História Da Construção' no Brasil.** Universidade Federal do Espírito Santo. Anais do XXVI Simpósio Nacional de História – ANPUH. São Paulo, 2011.

SANTOS, E.C.G. **Aplicação de Resíduos da Construção e Demolição reciclados (RCD-R) em Estruturas de Solos Reforçados**. São Carlos, 2007. 168p. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

SILVA, C.A. **Estudo do Agregado Reciclado de Construção Civil em Misturas Betuminosas para Vias Urbanas**. Dissertação de mestrado em Engenharia Geotecnica da UFOP. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto/MG, 2009.

SILVA, M. B. L.; **Novos Materiais à base de Resíduos De Construção e Demolição (RCD) e Resíduos de Produção de Cal (RPC) Para uso na Construção Civil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

SOUZA, J. G. G. - **Contribuição ao estudo da relação entre propriedades e proporcionamento de blocos de concreto – Aplicação ao uso de entulho como agregado reciclado.** 2001. 120p. Dissertação (Mestrado em Estruturas) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília. Distrito Federal, 2001.

SINDUSCON – Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo. **Gestão Ambiental de Resíduos da construção Civil: a experiência do SINDUSCON-SP**. Obra Limpa: I&T: 2005. Disponível em: < http://www.sindusconsp.com.br/downloads/prodserv/publicacoes/manual_residuos_solidos.pdf>. Acesso em: 15 de dezembro de 2014.

SELMO, S.M. DE S. **Agregados miúdos para argamassas de revestimentos**. In: Anais I Simpósio Nacional de Agregados – EPUSP , São Paulo, 1986.

_____. **Dosagem de argamassa de cimento portland e cal para revestimento externo de fachadas dos edifícios.** Dissertação de M. Sc., Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

SIQUEIRA, M.S. **Estudo Geotécnico sobre a Utilização de Resíduos de Construção e Demolição como Agregado Reciclado em Pavimentação**. In: II Simpósio Brasileiro de

Jovens Geotécnicos (GeoJovem 2006), 2006, Rio de Janeiro. Anais...Rio de Janeiro: UERJ, 2006.

TAYLOR, H.F.W. **Enciclopedia de la química industrial - la química de los cementos**. v. 1. Bilbao-Espanha: URMO, 1967.

TRISTÃO, F.A**. Influência da composição granulométrica da areia nas propriedades das argamassas de revestimento**. Dissertação de mestrado da Universidade Federal de Santa Catarina. 1995, 196 p.

TUCURUÍ, Secretaria Municipal de Meio Ambiente. **Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos.** Tucuruí, 2013. Disponível em: <http://www.semmatuc.pa.gov.br/files/PGRSU_TUCURU-NOVO REDUZIDO.pdf>. Acesso em: 24 de Abril de 2014.

TUCURUÍ, Secretaria Municipal de Obras, Urbanismo e Habitação. **Plano Diretor do Município de Tucuruí**. Tucuruí, 2006.

ZORDAN, S. E. **A utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto.** Dissertação de mestrado apresentada à UNICAMP. Campinas, 1997.

_____. **Entulho da indústria da construção civil**. Ficha técnica – textos "site" – http.//www.reciclagem.pcc.usp.Br/ - 05-05-1999.