

INSTITUTO FEDERAL DE ALAGOAS
CURSO DE GRADUAÇÃO TECNOLÓGICA EM CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS

FÁBIO MANOEL DE SOUZA OLIVEIRA
SANDRA MACILDA NOBRE DOS SANTOS

**A UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS PROCESSADOS DA CONSTRUÇÃO
CIVIL COMO FORMA DE DIMINUIR O IMPACTO AMBIENTAL E REDUZIR
CUSTOS: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Maceió
2022

FÁBIO MANOEL DE SOUZA OLIVEIRA
SANDRA MACILDA NOBRE DOS SANTOS

**A UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS PROCESSADOS DA CONSTRUÇÃO
CIVIL COMO FORMA DE DIMINUIR O IMPACTO AMBIENTAL E REDUZIR
CUSTOS: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Graduação em Construção de
Edifícios do Instituto Federal de Alagoas como
requisito parcial para a obtenção do grau de
Tecnólogo em Construção de Edifícios

Orientador: Prof. Dr. João Gilberto T. Silva

Maceió

2022

FÁBIO MANOEL DE SOUZA OLIVEIRA
SANDRA MACILDA NOBRE DOS SANTOS

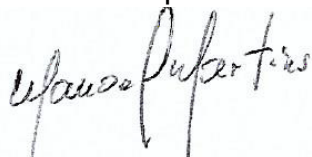
Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Construção de Edifícios no Instituto Federal de Alagoas – IFAL, **APROVADO** pela banca examinadora com nota 7,0.

Aprovado em de 27 janeiro de 2022.

Orientador:

Prof. Dr. João Gilberto T. Silva -
IFAL / Campus Maceió

Banca examinadora:



Prof. Dr. Manoel Martins dos Santos Filho
IFAL / Campus Maceió

Prof. Msc. Gregory Aguiar Caldas Barbosa
IFAL / Campus Maceió

Maceió
Janeiro de 2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação**Instituto Federal de Alagoas*****Campus Maceió******Biblioteca Benevides Monte*****INSTITUTO
FEDERAL
Alagoas**

O48u Oliveira, Fábio Manoel de Souza.

A utilização de resíduos sólidos processados da construção civil como forma de diminuir o impacto ambiental e reduzir custos : uma revisão bibliográfica / Fábio Manoel de Souza Oliveira, Sandra Macilda Nobre dos Santos. – Maceió : IFAL, 2022.

90 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. João Gilberto T. Silva.

Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Construção de Edifícios) - Instituto Federal de Alagoas / Campus Maceió, 2022.

Arquivo no formato PDF do trabalho acadêmico,

1. Construção Civil - Resíduos. 2. Resíduos sólidos – Reciclagem. 3. Bloco de concreto - Resíduos de Construção e Demolição. I. Santos, Sandra Macilda Nobre dos. II. Título.

CDD: 693

Nalva Maria Amaral
Bibliotecária – CRB-4/989

RESUMO

O limite dos recursos naturais requer atenção da indústria da construção civil, responsável pelo consumo expressivo nesta área. Este trabalho teve como objetivo desenvolver pesquisa de revisão teórica sobre o assunto e os estudos indicam esforços para minimizar o consumo e os efeitos dos impactos gerados. Observa-se também o desenvolvimento de máquinas e métodos que ajudem no cumprimento dessa meta. Um caso exemplar é o bloco de concreto em RCD (Resíduos de Construção e Demolição), feito basicamente do entulho de construções, areia, água e cimento. Materiais deste tipo reduzem desperdícios, ampliam produção e reúnem beleza e durabilidade. O estudo sobre o bloco indica vantagens e desvantagens da fabricação ao uso, mas destaca a viabilidade econômica. A pesquisa identificou os retornos econômicos e ambientais que a reciclagem dos resíduos sólidos da construção civil possibilita a todos os setores deste processo. Por fim, o estudo constatou que a reciclagem do entulho ou RSC (Resíduos Sólidos da Construção) também contribui para preservar a natureza e reduzir gastos. Para desenvolver este Trabalho a metodologia incluiu identificar e analisar trabalhos científicos disponíveis em repositórios institucionais que abordam a temática. Destacou-se no estudo o caso dos blocos de concreto com uso de RCD e materiais dos RSC.

Palavras-chave: Blocos de concreto; **RSD** (Resíduos Sólidos de Construção); Preservação da Natureza e Redução de Custos.

ABSTRACT

The limit of natural resources requires attention from the construction industry, which is responsible for significant consumption in this area. This work aimed to develop a theoretical review research on the subject and the studies indicate efforts to minimize consumption and the effects of the impacts generated. It is also observed the development of machines and methods that help to achieve this goal. An exemplary case is the CDW (Residues of Construction and Demolition) concrete block, made basically from construction rubble, sand, water and cement. Materials of this type reduce waste, increase production and bring together beauty and durability. The study on the block indicates advantages and disadvantages from manufacture to use, but highlights economic viability. The research identified the economic and environmental returns that recycling solid waste from civil construction makes possible for all sectors of this process. Finally, the study found that the recycling of rubble or CSW (Solid Construction Waste) also contributes to preserve nature and reduce expenses. To develop this work, the methodology included identifying and analysing scientific papers available in institutional repositories that address the theme. It was highlighted in the study the case of concrete blocks with the use of CDW and materials from the CSW.

Translated with www.DeepL.com/Translator (free version)

Keywords: Concrete blocks; RCD (CDW); Nature Preservation and Cost Reduction.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | | |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Figura 1. | Zigurate de UR | 14 |
| Figura 2. | Sobreviventes separando tijolos para reutilização na reconstrução... | 18 |
| Figura 3. | Resíduos de construção e demolição..... | 19 |
| Figura 4. | Areia Reciclada..... | 20 |
| Figura 5. | Blocos e casa popular, feitos a partir do material de demolição do Edifício Andorinhas..... | 22 |
| Figura 6. | Blocos de concreto de acordo com a família..... | 26 |
| Figura 7. | Amostra de agregados reciclados e agregados naturais..... | 26 |
| Figura 8. | Peneiramento e passagem de amostra | 27 |
| Figura 9. | Prensa hidráulica..... | 28 |
| Figura 10. | Armazenamento dos materiais reciclados..... | 28 |
| Figura 11. | Caapeamento dos blocos de argamassa..... | 29 |
| Figura 12. | Bloco de concreto | 30 |
| Figura 13. | Paquímetro usado para aferição de blocos de concretos..... | 31 |
| Figura 14. | Prensa hidráulica na confecção dos blocos | 31 |
| Figura 15. | Verificação das dimensões do bloco de concreto..... | 32 |
| Figura 16. | Bloco de concreto no momento da pesagem | 33 |
| Figura 17. | Blocos de concreto imersos na água | 33 |
| Figura 18. | Bloco de concreto no ensaio de resistência à compressão..... | 34 |
| Figura 19. | Blocos fabricados pela ONG Solidariedade..... | 37 |
| Figura 20. | Triturador de resíduos e peneira manual | 38 |
| Figura 21. | Granulométrica do RCD..... | 38 |
| Figura 22. | Geometria do bloco | 41 |
| Figura 23. | Resistência à compressão em função do agregado reciclado..... | 42 |
| Figura 24. | Ensaio de resistência à compressão simples: Bloco de vedação (a) e corpo de prova (b)..... | 43 |
| Figura 25. | Resistência à compressão simples de blocos de vedação em diferentes idades de cura | 43 |
| Figura 26. | Ensaio de absorção de água (%) de bloco de vedação em função do tempo..... | 45 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Tabela 1. | Tipos de tijolos feito de solo..... | 15 |
| Tabela 2. | Usos recomendado para agregados reciclado..... | 21 |
| Tabela 3. | Principais famílias de Blocos de Concretos..... | 24 |
| Tabela 4. | Ensaio de caracterização de agregado..... | 26 |
| Tabela 5. | Composição de custo de 1 m ² de alvenaria de vedação com a utilização do bloco de concreto..... | 35 |
| Tabela 6. | Custo total para obtenção de 1 m ² de alvenaria de vedação..... | 36 |
| Tabela 7. | Quantidade de insumos para produção de 8 unidades de blocos..... | 36 |
| Tabela 8. | Traços de RCD (AR2) e RCD (AR1) | 39 |
| Tabela 9. | Quantidade de materiais utilizados para a fabricação em série..... | 40 |
| Tabela 10. | Leituras de obtenções de massa no ensaio de absorção..... | 41 |
| Tabela 11. | Conformidade de dimensões dos blocos de vedação..... | 42 |
| Tabela 12. | Quantidade de água absorvida (a%) nos blocos e cilindros submetidos ao ensaio..... | 44 |
| Tabela 13. | Comparação entre traço, absorção e resistência dos autores analisados..... | 46 |

LISTA DE EQUAÇÕES

| | | |
|-------------------|------------------------------------------|-----------|
| Equação 1. | Fórmula da resistência à compressão..... | 35 |
| Equação 2. | Absorção de água..... | 41 |

LISTA DE ABREVEATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRECON - Associação Brasileira Para a Reciclagem de Resíduos da Construção Civil

AGMA – Agregado Médio com aspecto de Areia média-grossa

AGME - Agregado Médio com aspecto de areia fina-pulverulenta

ARM – Agregado Reciclado Misto

CBCS - Conselho Brasileiro de Construção Sustentável

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

ONG – Organização Não Governamental

PGRCC - Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil

PGRS - Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos

PIB – Produto Interno Bruto

RCD - Resíduo de Construção e Demolição

SUMÁRIO

| | |
|-------------------------------------------------|----|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 10 |
| 1.1 JUSTIFICATIVA | 12 |
| 1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO | 12 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 14 |
| 2.1 UTILIZAÇÃO DO RCD | 18 |
| 2.2 AREIA RECICLADA | 19 |
| 2.3 USO DO RCD NA CONSTRUÇÃO | 21 |
| 3. METODOLOGIA | 25 |
| 3.1. Estudo realizado por De Paula (2010) | 25 |
| 3.2 Estudo realizado por Costa (2017) | 30 |
| 3.3 Estudo realizado por Borges (2013) | 37 |
| 4.CONCLUSÕES | 46 |
| REFERÊNCIAS | 48 |

1. INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos principais setores a promover o desenvolvimento econômico e social, pois amplia empregos e renda (PASCHOALIN FILHO e DUARTE, 2015). Em contrapartida, o setor consome recursos e degrada o meio ambiente, além de gerar Resíduo de Construção e Demolição (RCD), o que ao longo do tempo promove discussões e requer atenção sobre a destinação correta desse tipo de material. Os estudos indicaram que, a partir dos dados disponíveis no Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS), a construção civil no país representa 15% do PIB, mas consome cerca de 75% de recursos naturais, 50% da energia elétrica gerada e 21% do consumo de água. Do ponto de vista de danos ambientais, o estudo identificou, com base nos dados da CBCS que o setor gera, aproximadamente, 80 milhões de toneladas de resíduos oriundos de demolições.

Este trabalho tem por objetivo realizar uma revisão bibliográfica sobre blocos de alvenaria de vedação atendendo às normas legais de fabricação, tendo por finalidade identificar formas de uso e de redução dos impactos ambientais causados pela indústria da construção civil. O estudo observou na literatura técnico-científica trabalhos sobre o uso do RCD em relação à economia de recursos naturais e financeiros para o mercado consumidor. Outro aspecto investigado foi analisar estudos sobre o bloco de resíduos com análise de resistência à compressão, absorção de água e aspecto externo, conforme as normas técnicas vigentes;

Nas pesquisas, verifica-se que uma alternativa que pode contribuir para reduzir esse impacto ambiental, é o investimento em tecnologias que substituam as fontes primárias de matérias-primas usadas nos produtos usados na construção civil. Um estudo de caso que apresenta viabilidade é o bloco de alvenaria de vedação confeccionado com a incorporação do entulho de construção (AMADEI, 2011).

Em 2014, a criação do aterro sanitário de Maceió foi um avanço na destinação do lixo urbano municipal. O aterro ocupa uma área de 140 hectares e recebe cerca de 57 mil toneladas de lixo por mês, mas apenas 0,2% é destinado a coleta seletiva. Nesta informação não se considera o resíduo da construção civil (Aterro..., 2014). Na cidade de Maceió, conforme pesquisa realizada, não há registros disponíveis sobre

empresas especializadas em logística reversa, no processamento de entulho ou que utilizem o RCD na fabricação de bloco de concreto com adição de resíduos.

A despeito dessa realidade local, o presente estudo identificou a tendência de mercado da construção civil, de médio e a longo prazo, para garantir normas técnicas que incluam necessidade de preservação ambiental. Os blocos construídos com resíduos de construção civil permitem durabilidade, agilidade na construção e preservação do meio-ambiente, além de reduzir custos para clientes e construtores. Um dos documentos que orientam essa tendência é a resolução nº 307 do CONAMA de 5 de julho de 2002, onde ficaram estabelecidas as diretrizes e normas para a efetiva redução dos impactos ambientais. Essa resolução tem o intuito de estabelecer critérios e métodos para o gerenciamento dos resíduos da construção civil e vem passando por mudanças desde 2017.

No documento, identifica-se que os resíduos integram vasta gama de materiais, como: tijolos, vidros, forros, plásticos, argamassa, dentre outros e são popularmente conhecidos como entulho de obras ou metralha. Os resíduos são classificados, segundo a resolução, conforme sua reutilização e separados em quatro categorias:

- **Classe A** – Resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados de construção, pré-moldados e pavimentação;
- **Classe B** – Resíduos recicláveis para outras destinações. Exemplos: plástico, vidro, metal, madeira, papel, etc..
- **Classe C** – Resíduos sem tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam sua reciclagem. Exemplo: gesso.
- **Classe D** – Resíduos perigosos oriundos do processo de construção ou demolição que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde. Exemplo: tintas, solvente, instalações industriais, clínicas radiológicas, etc.

A resolução também definiu a responsabilidade dos geradores de lixo urbano, todos aqueles que assumem atividades ou empreendimentos que produzam resíduos. O reuso dos resíduos gerados é uma das formas de redução. O texto veta o descarte do material em aterros de resíduos domiciliares, em áreas protegidas por lei, em áreas de “bota fora”, corpos d'água, encostas e lotes vagos.

Verificam-se prós e contras desde a produção até a aplicação de materiais diversos da construção civil. A geração de itens reciclados exige estudos que sejam aferidos com ensaios normativos de resistência à compressão, análise dimensional e determinando o índice de absorção de água.

1.1 JUSTIFICATIVA

O presente trabalho teórico tem por finalidade observar as mudanças na construção civil em função da Resolução 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. O documento define que os Resíduos de Construção e Demolição (RCD) “são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, comumente chamados de entulhos de obras, calça ou metralha”. A norma orienta sobre destinação correta ambientalmente e socialmente ao resíduo, até então tratado como lixo comum.

No estudo constatou-se que a reciclagem é a maneira adequada para reutilizar os resíduos, pois, além de evitar que se torne lixo poluente, contribui para a economia como oportunidade de trabalho e negócio (ABRECON, 2016).

Conforme se constatou na pesquisa, o trabalho técnico é importante para garantir itens alternativos, seguros e eficazes de construção. Para que isso aconteça, verifica-se a confecção do produto bloco acrescido de um traço de Resíduo de Construção e Demolição – RCD. Este caso permite construção de baixo custo e popular, o que amplia número de pessoas e segmentos da sociedade que possam construir.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente estudo está dividido em seis seções, conforme descrição abaixo:

Nesta primeira seção introdutória, apresenta-se o assunto que será abordado em um contexto geral e o objetivo específico, com base na Resolução Nº 307 do CONAMA. Observa-se, assim a utilização de resíduos de construção para minimizar os impactos causados ao meio ambiente e reduzir custos no processo construtivo, bem como são indicados objetivos e estrutura do TCC.

Na seção 2, será apresentada a revisão teórica sobre o assunto no Brasil e em outros países. Observam-se diferentes técnicas para construir moradias empregadas ao longo do tempo, com foco numa descrição dos resíduos de construção, e possibilidades para descarte adequado e com base legal.

Na seção 3, apresenta-se a metodologia do trabalho, onde são apresentados os principais trabalhos acadêmicos coletados em repositórios institucionais e que priorizam investigar materiais que usam percentuais de resíduos de construção e demolição, acrescidos em argamassas usadas na confecção de blocos de alvenaria vedação. Os estudos estabelecem um traço padrão de cimento Portland, conforme Normas ABNT (6136/16 - blocos de vedação), que definem parâmetros na fabricação dos artefatos.

Na seção 4 estão as conclusões e considerações finais do estudo com discussão sobre os resultados dos ensaios de resistência à compressão, aspecto do bloco e absorção de água, com 100% de RCD nas argamassas utilizadas para a confecção dos blocos, nos dados coletados de revisão teórica.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta pesquisa tem por meta refletir acerca dos materiais usados nas moradias e os impactos que geram ao meio-ambiente. Nos estudos realizados, verificou-se que, desde a pré-história, com as formas de habitação em cavernas, as pessoas buscavam abrigos das intempéries e proteção dos animais predadores. Como o número de cavernas era limitado, houve a necessidade de alternativas para a construção de residências. Conforme registra Ribeiro et. al.(2002), foram experimentados vários materiais e métodos ao longo do tempo, mas o solo se destacou, por ser um material abundante e de fácil uso.

Os tijolos adobe, por exemplo, conforme indica Cunha (1978), eram feitos basicamente de barro molhado, cru, esterco de gado e misturado com capim ou palha, e que eram moldados em fôrmas e postos para secar ao Sol. Esses material é utilizado há séculos, com registros na antiga Babilônia (CUNHA, 1978). Na Figura 1 verifica-se a técnica deste tijolo em escombros da antiga Suméria, localizada no atual Iraque (SANTIAGO, 2001).

Figura 1 – Ziguarte de UR



© CanStockPhoto.com



Fonte: <https://www.canstockphoto.com.br/cidade-antiga-ur-26960226.html>

Segundo Eires e Jalali (2009), um terço da população mundial vive em habitações confeccionadas com terra, algumas destas com milhares de anos, o que comprova versatilidade e qualidade da utilização do solo na construção. Da mesma forma, esse material continua sendo empregado atualmente, pois além de apresentar

conforto térmico e acústico, é sustentável, estético e não oferece risco à saúde humana ou de outros animais.

Já em nosso país, esse método foi implantado pelos portugueses e foi mais usado em lugares nos quais havia pouca disponibilidade de pedras. As antigas paredes das construções eram espessas se comparadas aos padrões atuais, método que perdurou até o final do século XVIII (SANTIAGO, 2001) e foi substituído aos poucos pela taipa de mão ou taipa de pilão. Segue abaixo a Tabela 1, comparando alguns métodos construtivos com solo:

Tabela 1- Tipos de tijolos feitos de solo

| | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>Adobe</p> | <p>Tijolos de terra cru eram feitos com fôrmas de madeira, e eram secos ao Sol ou ao ar (na sombra), após desenformar.</p> |
|  | <p>Taipa de Pilão</p> | <p>A terra é compactada socando com pilão dentro de fôrmas de madeira, para adquirir maior consistência, e em camadas sucessivas, formando a parede, cuja espessura variava entre 50 e 90 cm, podendo chegar a 1,50 m.</p> |

| | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>Taipa de Mão (pau-a-pique)</p> | <p>Essa técnica usa uma trama de varetas horizontais e verticais que é preenchida com uma massa semelhante à usada no tijolo adobe e que faz o preenchimento e fechamento dos vazios da trama.</p> |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Fonte: Autoria própria

Atualmente há um processo que promove e valoriza a construção sustentável em escala global. Deste modo, o uso de produtos que contenham o RCD em sua composição apresenta-se como alternativa para esta proposta. No Brasil, o manuseio de RCD estão baseados na resolução 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA.

Sobre essa questão, destacam-se os Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos – PGRS, documentos técnicos que orientam a gestão dos resíduos. Além disso, observa-se na norma a relevância dos planos para auxiliar o gerenciamento de todos os resíduos que ocasionalmente venham ser produzidos. Sobre as etapas de elaboração e implementação dos PGRS, ocorrem em três níveis: federal, estadual e municipal e por empresas públicas ou privadas (BRASIL, 2010).

Os planos integrados de gerenciamento de resíduos da construção civil devem conter procedimentos necessários à formulação do programa e as indicações técnicas, além dos projetos vinculados ao gerenciamento dos resíduos. É responsabilidade dos grandes geradores a elaboração do projeto de gerenciamento em obra, o que permite partilhar responsabilidades relacionadas aos procedimentos desde a triagem, acondicionamento, transporte e destinação.

A elaboração do plano de gerenciamento inclui as seguintes etapas:

- I. Caracterização: O gerador identifica e quantifica os resíduos.
- II. Triagem: Cabe ao gerador definir origem e áreas de destinação

- III. Acondicionamento: Estocagem e condicionamento dos resíduos após gerados para reutilização ou transporte.
- IV. Transporte: Atende prescrição das normas técnicas vigentes.
- V. Destinação: Conforme a Resolução CONAMA 307.

No modelos de gestão são consideradas as diretrizes que definem destinação dos recursos para direcionamento de tais resíduos. São observados os seguintes aspectos: condições socioeconômicas do município, tipo de destinação dos resíduos, dados qualitativos e quantitativos dos resíduos. Quando necessário, acrescentam-se outros critérios adaptados conforme necessidades de cada local.

O Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil – PGRCC integra a parte da estrutura organizacional da empresa e deve ser aplicado à realidade encontrada na execução da obra, ou seja, não pode ser uma ação isolada ou pontual. Na implementação desse tipo de gestão, é preciso considerar outras questões como o sistema de gestão ambiental ou programas de qualidade.

A inserção de hábitos futuros no canteiro de obras deve visar ações para seleção e armazenamento eficaz, fazendo com que os resíduos possam ser coletados, seletivamente e transportados conforme sua classificação com a destinação adequada. Atualmente, é preciso minimizar o uso dos recursos naturais para preservar o meio ambiente, sendo secundário o método de reuso de materiais, importante para poupar energia usada. A reciclagem é um dos processos fundamentais, em especial para gerar produtos que substituam ou concorram em todos os aspectos com os que são empregados atualmente.

Verifica-se que os métodos de reciclagem dos RCDs ainda precisam avançar, quanto à valorização e à divulgação. Países como Estados Unidos e Japão, implementaram cultura de reciclagem e investiram em tecnologia e padronização de métodos para alcançar um alto padrão de qualidade de agregados de qualidade (LEVY, 2006), o que ainda não se verifica no Brasil.

2.1 UTILIZAÇÃO DO RCD

Após a Segunda Guerra Mundial, os países europeus passaram a utilizar os escombros das construções como matéria prima para a reconstrução (Figura 3), por se tratar do material mais abundante, barato e disponível naquele momento. Na ocasião o entulho era reaproveitado ou triturado gerando um agregado que foi amplamente usado na construção. Foi essa estratégia que iniciou o desenvolvimento dos métodos de britagens usados atualmente (ABRECON, 2021).

Figura 2 – Sobreviventes separando tijolos para reutilizar em reconstrução



Fonte: www.mdig.com.br/index.php?itemid=46696

É relevante identificar as características dos componentes do RCD para entender os processamentos e a destinação final de cada material.

O agregado produzido após o britamento pode ser usado em pavimentações de estradas, argamassas, aterros, concreto de pisos, matéria prima na confecção de blocos de pavimentação e blocos de concreto com resíduo de construção. Para esta última finalidade, o material deverá ter características compatíveis para a fabricação desses elementos (AMADEI, 2011).

Entre os parâmetros importantes no RCD destacam-se as seguintes composições e percentuais: química, física, distribuição do material nos intervalos de densidade, a massa aparente e a absorção de água (TENÓRIO, 2007).

Conforme a NBR 10004 (ABNT, 2004) os resíduos sólidos são classificados de acordo com as atividades que lhes deram origem e conforme seus materiais constituintes: Classe I – Perigosos; Classe II – Não perigosos; Classe II A – Não inertes e Classe II B – Inertes .

A norma da NBR 10004 (ABNT, 2004) classifica os RCDs da Classe II B como todo aquele que quando submetido a um contato dinâmico e estático com a água destilada ou diionizada, à temperatura ambiente, não sofra quaisquer tipos de reações químicas mantendo seus aspectos físicos inertes (Figura 4).

Figura 3 - Resíduos de construção e demolição



Fonte: <https://www.sustentaresaneamento.com.br/reciclagem-de-entulhos/>

Surgiu no início dos anos 80 em nosso país, estudos direcionados ao RCD, que tinham como prioridade a qualificação e caracterização, e posteriores utilizações depois de serem processados (PINTO, 1999).

Um dos principais fatores que vem dificultando a exploração em larga escala do RCD é a falta de ampla divulgação e o desconhecimento quanto a durabilidade, o custo e os retornos socioeconômicos e ecológicos. Se levarmos ainda em consideração a gama de subprodutos que teriam como matéria prima os resíduos de construção sem deixar de lado a alta qualidade e o bom desempenho e quando reciclado de forma correta poderá gerar lucro cobrindo as despesas do capital inicialmente investido nessa atividade (BRASILEIRO; MATOS, 2015).

2.2 AREIA RECICLADA

A areia reciclada (Figura 4), é um produto resultante do processamento dos resíduos de blocos de cimento ou concreto, oriundos da construção civil, possui como

característica física que é durabilidade, além de apresentar ausência de impurezas, como: plásticos, borracha, madeira e matéria orgânica, o que comprometeria de forma direta o produto final. Esse tipo de areia pode ser utilizada em argamassa de assentamento, na confecção de tijolos de solo cimento, tijolos de pavimentação, blocos de concreto, contrapiso e na criação de artefatos de cimento que não exijam grandes solicitações mecânicas.

Na Resolução nº 307 do CONAMA, ficou definido que o agregado reciclado é um material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção que apresentem características técnicas para a aplicação em obras de edificações, infraestrutura, aterros sanitários ou outros alvos de construção (LOVATO, 2006).

O RCD poderá ser usado associado ou separado de porções de solo e deverá ter diâmetro máxima não superior a 4mm.

Figura 4 - Areia reciclada.



Fonte: <https://crareiaepedraambiental.com.br/reciclados/>


No que se refere à confecção de blocos de concreto com RCD, devemos analisar pontos positivos e relevantes que devem ser verificados, como: a taxa de resistência de compressão, absorção de água e abrasão, neste último caso quando se refere a blocos de pavimentação (HOOD, 2006).

2.3 USO DO RCD NA CONSTRUÇÃO

Sobre as características do RCD, é importante registrar que o Brasil “é um dos poucos países a terem aprovado normas específicas para utilização de agregados reciclados” (LÉVY, 2006, p. 377).

Por esse motivo temos o respaldo técnico e podemos empregar o RCD para a produção de blocos ou tijolos ecológicos (Tabela 2).

Tabela 2 - Usos recomendados para agregados reciclados

| Imagem | Produto | Características | Uso recomendado |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | Areia reciclada | Material com dimensão máxima característica inferior a 4,8 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto. | Argamassas de assentamento de alvenaria de vedação, contra pisos, solo-cimento, blocos e tijolos de vedação. |
|  | Pedrisco reciclado | Material com dimensão máxima característica de 6,3 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto. | Fabricação de artefatos de concreto, como blocos de vedação, pisos intertravados, manilhas de esgoto, entre outros. |
|  | Brita reciclada | Material com dimensão máxima característica inferior a 39 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto. | Fabricação de concretos não estruturais e obras de drenagens. |
|  | Bica corrida | Material proveniente da reciclagem de resíduos da construção civil, livre de impurezas, com dimensão máxima característica de 63 mm (ou a critério do cliente). | Obras de base e sub-base de pavimentos, reforço e subleito de pavimentos, além de regularização de vias não pavimentadas, aterros e acerto topográfico de terrenos. |
|  | Rachão | Material com dimensão máxima característica inferior a 150 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto. | Obras de pavimentação, drenagens e terraplenagem. |

Fonte: ABRECON (2015).

O quadro anterior organiza os tipos e usos de produtos, respeitando suas características após o processamento e a triagem do resíduo.

Sobre o histórico do uso do agregado reciclado na confecção de bloco de concreto, verifica-se que os elementos de alvenaria podem ser fabricados com esta metodologia, como exemplo: elementos pré-moldados, blocos e tijolos de solo-

cimento. Sansão (2009) acrescenta que adicionar agregado reciclado na fabricação de tijolos de solo-cimento pode proporcionar tijolos mais compactos, com uma massa mais densa e menor absorção de água quando são imersos, além de atingirem uma maior resistência à compressão. Verificam-se desvantagens em relação à resistência a intempéries e variações hidrotérmicas.

Em relação à construção de edificações, algumas obras no Brasil já utilizaram materiais provenientes do processamento de resíduos sólidos das construções (BRASILEIRO; MATOS, 2015). Segundo Levy (2007), de 2003 a 2004, em uma obra no Rio de Janeiro, foram usados o RCD dos escombros do edifício Andorinhas, que fora construído em 1934, restando apenas os elementos estruturais de 9 andares da edificação. Após ser demolida gerou cerca de 5000 m³ de entulho, transformado em 600.000 blocos de 14x14x39 cm e utilizados na construção de casas populares (Figura 5).

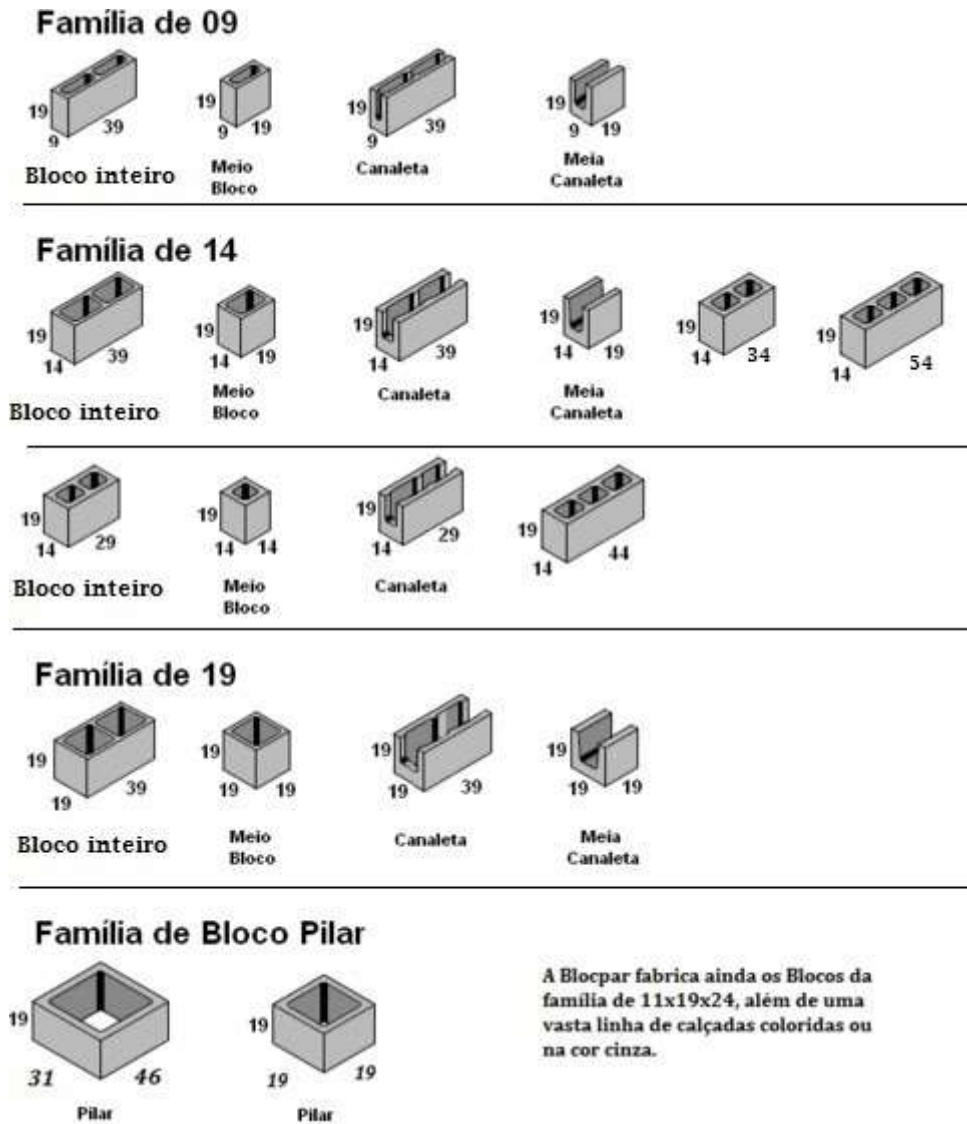
Figura 5 – Blocos e casa popular, feitos a partir do material de demolição do Edifício Andorinhas



Fonte: Levy (2007)

Os blocos de concreto são sub divididos em famílias (Figura 6):

Figura 6 – Blocos de concreto de acordo com a família



Fonte: <https://www.blopar.com.br/blocos-produtos-e-calcadas-clique-na-foto-para-ampliar.html>

As famílias de blocos (Tabela 3) possuem aplicações distintas conforme projetos residenciais, comerciais e industriais.

Tabela 3 – Principais famílias de blocos de concreto

| Designação | Dimensões (mm) | | | |
|----------------------------------------------|----------------|--------|------------------------|--------------------------|
| | Largura | Altura | Comprimento | Amarração |
| Módulo M-20 (largura nominal de 20 cm) | 190 | 190 | 390 190 90 40 | |
| Módulo M-15 (largura nominal de 15 cm) | 140 | 190 | 390 190 90 40 | 340 (em L) 540 (em T) |
| | | | 290 140 | 440 (em T) |
| Módulo M-10 (largura nominal de 10 cm) | 90 | 190 | 390 190 90 40 | |
| | | | 290 190 90 | 290 (em T) |
| | | | 190 90 | 290 (em T) |

Fonte: <https://www.comunidadeconstrucao.com.br/upload/ativos/245/anexo/anexo04cart.pdf>

3. METODOLOGIA

O presente estudo é sobre a confecção de blocos de vedação com adição de RCD tendo como referências trabalhos acadêmicos previamente selecionados, nos quais destacamos os trabalhos de De Paula (2010), Costa (2017) e Borges (2013).

Dentro dos trabalhos dos autores mencionados acima identificamos neste TCC os pontos de estudos em comum como: o traço, a absorção de água, a resistência e o aspecto do RCD. Destacaremos tais aspectos, a seguir.

3.1 – Estudo realizado por De Paula (2010)

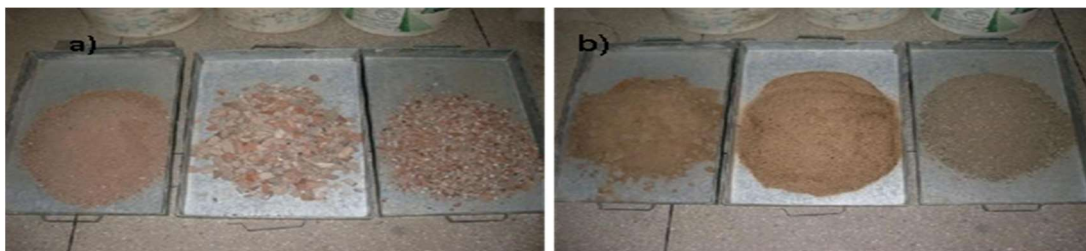
Segundo De Paula (2010, p.10), definiu-se um traço padrão e percentuais de RCDs que foram utilizados em argamassas sem função estrutural. O estudo usou traço padrão 1:6 (cimento: agregado miúdo) e substituição de 25%; 50%; 75%; e 100% da areia natural por areia de RCD, chegando a obter respectivamente as resistências: 3,67 MPa, 2,63 MPa, 2,44 MPa e 2,03 MPa.

Para caracterizar os materiais utilizados na fabricação dos blocos de argamassa sem função estrutural, De Paula (2010, p.76), selecionou 250 kg provenientes de RCD na usina de reciclagem de Petrolina, e em seguida submeteu a processo de quarteamento, conforme a NBR 15116/2004. As amostras foram selecionadas pela composição (rochas, concreto, argamassas, areia e material cerâmico) e encaminhadas já trituradas e homogeneizadas em granulometria de dimensão máxima igual a 2,36 mm para ao laboratório de materiais de construção da UNIVASF, uma vez que esta é a dimensão adotada na fabricação de blocos com agregados miúdos na região de Petrolina.

Já nos ensaios para caracterização do RCD, De Paula (2010, p.77), selecionou e dividiu os agregados miúdos em: reciclados e não reciclados, vistos na Figura 8, e os submeteram a peneiramento em uma malha de abertura ($\emptyset < 4,8$ mm) para em seguida serem usados na moldagem de blocos e ensaios físico mecânicos, além da produção de concreto com 100% de agregado reciclado e 50% reciclado/natural (Figura 7). Já na tabela 4, são apresentadas as normas da ABNT que serviram de

bases para estudos de ensaios, composição granulométrica, teor de materiais pulverulentos, ensaios de massa específica e massa unitária.

Figura 7 – Amostra de agregados reciclados e agregados naturais.



Fonte: De Paula (2010)

Tabela 4 – Ensaio de caracterização de agregado.

| Material | Ensaio | Norma ABNT |
|--------------------------|-------------------------------------|-------------------|
| Agregado Miúdo/reciclado | Granulometria | NBR 7181:1984 |
| | Teor de materiais pulverulentos | NBR NM 46:2003 |
| | Massa Unitária | NBR NM 45:2003 |
| | Massa Específica | NBR NM 52:2003 |
| Cimento Portland | Tempo de Pega: início e fim | NBR 11581 |
| | Massa Específica Real | NBR NM 23/98 |
| | Resistência à Compressão | NBR 7215 |
| | Composição Química | NBR 05742 |
| | Finura: resíduo na peneira 0,075 mm | NBR 11579 |
| | Superfície Específica: Blaine | NBR NM 76/98 |

Fonte: De Paula (2010)

A seguir, destacam-se os ensaios realizados por De Paula (2010, p.10) conforme descrito na tabela 4.

No ensaio granulométrico do agregado miúdo proveniente do RCD, De Paula (2010, p.10) fez peneiramento elétrico do material com uso de peneiras com aberturas inferiores a 4,8 mm. O material que passou foi depositado em uma balança eletrônica de precisão 0,1g, conforme NBR 7181 de 1984 (Figura 8).

Figura 8 - Peneiramento e pesagem das amostras.



Fonte: De Paula (2010)

No ensaio de resistência à compressão De Paula (2010, p.81) se baseou na norma da ABNT NBR 6136, de 2007. O documento estabelece as características para blocos vazados de concreto simples, empregados na execução de alvenaria sem função estrutural. A norma estabeleceu análises para resistência à compressão, retração e absorção.

De Paula (2010) realizou os ensaios e estabeleceu de forma prévia as idades de controle para 7, 14 e 28 dias a partir da data da confecção dos blocos. Na ocasião foram definidos três lotes conforme a idade, sendo cada um com 6 (seis) unidades e tempo de vibração de 1 minuto. No ensaio de resistência à compressão, foi usado uma prensa hidráulica com capacidade de 100 toneladas e velocidade de carregamento de 0,05 KN/segundo (Figura 9).

Figura 9 - Prensa Hidráulica

Fonte: De Paula (2010)

Na descrição dos materiais usados nos blocos, De Paula (2010, p. 82) indicou fundamentação a partir de Oliveira (2003) e Carneiro (2005). Os materiais usados foram cimento tipo CII Z 32 resistente ao sulfato-RS, agregados naturais e água potável. Somaram a estes itens: Agregados reciclados de RCD, provenientes de resíduos cerâmicos, concreto, argamassas e pedras de granulometria próxima da mistura areia/pó-de-pedra.

Na argamassa usada na fabricação dos blocos sem função estrutural, De Paula (2010, p.82) usou um traço padrão de 1:6 (aglomerante/agregado), além de considerar a granulometria do agregado miúdo reciclado de RCD próximo a do agregado natural usado na região de Petrolina. Após o beneficiamento, os materiais foram armazenados em sacos plásticos para evitar contaminação (Figura 10).

Figura 10 - Armazenamento dos materiais reciclados.

Fonte: De Paula (2010)

Já na fabricação dos blocos a partir de RCD beneficiado, foram feitos experimentos para observar absorção de água e resistência à compressão. Os blocos tinham dimensões 9x19x39cm, por serem essas as medidas comercializadas na região, sendo aplicados percentuais de substituição dos agregados naturais pelos reciclados de 25, 50, 75 e 100%. Na preparação da argamassa foi priorizada a homogeneização dos materiais e colocação dos itens na betoneira para aproximar ao formato dos agregados naturais.

Conforme indicado, a argamassa preparada manualmente foi depositada em formas e compactada manualmente com oito golpes de pás de base quadrada por bloco, a uma altura média de 20 cm. Depois eram submetidos a vibração por 1 minuto e em seguida desmoldados, sendo cobertos posteriormente com lona plástica por 12 horas para evitar a evaporação da água de amassamento, o que resultou em blocos capeados (Figura 11).

Figura 11 – Preparação da pasta de cimento e blocos de argamassa capeados



Fonte: De Paula (2010)

Passado esse período, os blocos eram levados a uma câmara úmida por 24 horas, a temperatura de 27 °C e umidade relativa do ar de 96%. Depois houve imersão em um tanque com água, onde permaneceram por 7, 14 e 28 dias. Com base nas idades, foram separados lotes com 6 unidades e capeados com uma pasta de cimento e água antes do ensaio de resistência à compressão. Nesse experimento foram confeccionadas 33 unidades de blocos.

3.2 - Estudo realizado por Costa (2017)

Costa (2017) dividiu a pesquisa em duas metodologias: a primeira foi o estudo teórico, baseado em informações a respeito dos blocos de concreto convencionais e dos blocos de concreto reciclados, usados para vedação. Na segunda metodologia destacou estudo de caso que comparou blocos de concreto tradicionais com blocos com RCD. Foi verificada a viabilidade técnica-econômica e sustentável, sendo realizados ensaios de compressão axial, aferição das medidas, texturas e o grau de absorção da água, conforme as normas NBR 6136 (ABNT, 2016) e NBR 12118 (ABNT, 2013).

Para efeito de comparação e comprovação da viabilidade econômica, a autora elaborou tabelas orçamentárias com preços dos agregados e aglomerantes dos blocos, além dos serviços para que esses fossem empregados. Para a realização dos ensaios foram selecionadas 16 (dezesesseis) blocos de concreto usados em vedação, sendo 8 (oito) unidades com o concreto convencional e 8 (oito) unidades com blocos reciclados, sendo estes fornecidos pelo mesmo fabricante e escolhidos de forma aleatória (Figura 12) para uso no estudo.

Figura 12 - Bloco de concreto



Fonte: Costa (2017)

Nos blocos de concreto reciclados, foram usados os RCDs compostos de restos de blocos de concreto, blocos cerâmicos e argamassa de cimento. Os componentes tinham conformidade com NBR 15116 (ABNT, 2004) e isentos de restos de madeira, plástico, aço, tubulações e similares.

Conforme determina a Norma a NBR 12118 (ABNT, 2013) foram verificados três blocos para cada caso: **medidas e texturas** - 3 (três) unidades e **absorção de água e resistência à compressão** - 3 (três) unidades, sendo 6 (seis) no total com o concreto convencional e 6 (seis) no total com o concreto reciclado.

Com a finalidade de realizar a aferição de medidas nos blocos, a autora usou um paquímetro (Figura 13) para medir todas as dimensões (comprimento, largura, altura, espessura e tamanho das mísulas).

Figura 13 - Paquímetro utilizado para aferição dos blocos de concreto



Fonte: Costa (2017)

Para realização de um estudo técnico foi usada uma prensa universal (Figura 14) para aferir a compressão axial suportada pelos blocos, além de uma balança de precisão e um tanque com água, em temperatura ambiente, para imersão dos blocos de concreto.

Figura 14 - Prensa hidráulica utilizada para a compressão dos blocos



Fonte: Costa (2017)

A seguir, serão descritos os ensaios realizados por Costa (2017, p.56). A primeira etapa foi de verificação de medidas e texturas, quando as dimensões dos blocos foram mensuradas com o paquímetro. Foi realizada aferição (figura 15) para checar atendimento à Norma NBR 6136 (ABNT, 2016) e NBR 12118 (ABNT, 2013) com a finalidade de facilitar o manuseio, a estética e proporcionar melhor desempenho na construção.

Figura 15 - Verificação das dimensões do bloco de concreto.



Fonte: Costa (2017).

Para avaliar a textura dos blocos a autora fez uma conferência visual, em todas as amostras, de modo que obedecessem aos critérios pré-estabelecidos pela NBR 6136 (ABNT, 2016), dentre as quais se inclui a forma como o produto absorve água.

A absorção de água de acordo com a NBR 9778 (ABNT, 2009), é o aumento na massa de um corpo sólido devido à penetração de água nos poros em relação à massa em estado seco. Quando se observa este critério, deve-se compreender que o bloco já possui um peso próprio e que somado com o peso excessivo da água absorvida pelo mesmo, poderá gerar uma sobrecarga.

Essa observação é necessária, pois uma densidade elevada de água poderá gerar um colapso de uma estrutura construída. Em contrapartida se este mesmo bloco não apresentar uma absorção mínima, nos parâmetros adequados, acarretará em problemas de aderência de argamassa e, portanto, irá gerar massas secas sem capacidade de fixação. Na pesquisa, foi usada uma balança com capacidade máxima de 20 kg, atendendo assim à NBR 12118 (ABNT, 2013), para cálculo do percentual de absorção de água.

Em princípio foram separadas 4 (quatro) unidades de blocos convencionais e 4 (quatro) unidades de blocos com concreto com RCD, onde todos se encontravam secos ao ar. Em seguida foram pesados como pode ser visto nas imagens abaixo, (Figuras 18 e 19) determinando sua massa M .

Figura 16 - Bloco de concreto no momento de sua pesagem.



Fonte: Costa (2017).

Em seguida os blocos dos grupos (concreto convencional e concreto com RCD) foram depositados no fundo de um tanque com água em temperatura ambiente, conforme figura 17, onde permaneceram por 24 horas, conforme determina a NBR 12118 (ABNT, 2013).

Figura 17 - Blocos de concreto imersos na água



Fonte: Costa (2017).

Passado o prazo mencionado no parágrafo anterior e retirados os blocos do tanque para pesagem novamente, para determinar sua massa úmida M_2 e a

determinação do grau de absorção de água, em seguida os blocos retornaram ao tanque, onde ficaram por cerca de um minuto e depois pesados novamente, conforme determina a NBR 12118 (ABNT, 2013), sendo realizado de 3 a 4 vezes para cada bloco até que os blocos possuísem uma tolerância máxima de 0,5 % de diferença entre suas massas, As Figura 21 e 22 mostram o bloco convencional e o bloco reciclado, ambos saturados, no momento de sua pesagem.

Conforme preconiza na Norma NBR 6136 (ABNT, 2016) o valor de absorção de água no bloco não deveria ultrapassar 10%.

No ensaio de resistência à compressão se mediu resistência à compressão de dois grupos (concreto convencional e concreto com RCD). Cada bloco foi submetido a compressão, mas antes passaram por uma verificação e regularização das faces, conforme a NBR 12118 (ABNT, 2013). Depois foi utilizada uma peça de madeira com uma espessura de 3 mm, para uniformizar os blocos com uma madeira que tinha as mesmas medidas dos blocos, com dimensões de 10 cm × 39 cm (largura e comprimento).

Para os testes foi utilizada uma máquina computadorizada cuja prensa hidráulica identifica a compressão axial dos corpos, conforme especifica a norma. No teste de compressibilidade foram usadas utilizou-se 4 (quatro) unidades de amostras de cada tipo de bloco de concreto. Para efeito de comparação, os blocos convencionais secos/saturados e blocos reciclados secos/saturados também foram submetidos aos ensaios quanto à sua resistência à compressão (Figura 18).

Figura 18 - Bloco de concreto no ensaio de resistência à compressão



Fonte: Costa (2017).

Para determinar a resistência à compressão dos dois tipos de blocos foi usada a equação 1:

Equação 1 – Fórmula da resistência à compressão.

| Fórmula | Legenda |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $R = F / A$ | <p><i>R</i>: resistência encontrada, em Mpa;</p> <p><i>F</i>: força aplicada, em Newton (N);</p> <p><i>A</i>: área bruta obtida de cada bloco ensaiado, em mm².</p> |

Fonte: Autoria própria

No que se refere ao nível de resistência à compressão Costa (2017) usou a norma NBR 6136 (ABNT, 2016), onde consta a resistência (f_{bk}) $\geq 3,0$ Mpa, porém o fornecedor dos blocos do estudo apenas informou que estes atenderam à Norma citada e que os valores chegaram até 4 Mpa.

É importante destacar que a alvenaria de bloco de concreto é uma das mais utilizadas em nosso país. Na comparação de viabilidade econômica do bloco convencional com o bloco confeccionado com RCD de acordo (Tabela 5), Costa (2017) usou Tabelas de Composição de Preços para Orçamentos (TCPO), para comparar quantidade de insumos e mão de obra empregada para executar 1m² de alvenaria de vedação com blocos de concreto. A tabela inclui o custo de cada componente, indicativos retirados do SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil) e da empresa fornecedora dos blocos em 2017.

Tabela 5 – Composição de custo de 1 m² de alvenaria de vedação com a utilização do bloco de concreto

| Componentes | Unidade | Consumo médio | Custo médio (R\$) | Custo total (R\$) |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------|-------------------|-------------------|
| Pedreiro | H | 0,71 | 6,86 | 4,8706 |
| Servente | h | 0,43 | 4,82 | 2,0726 |
| Argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia sem peneirar – traço 1:0,5:8 | m ³ | 0,0147 | 399,86 | 5,877942 |
| Bloco de concreto convencional para vedação (altura: 200 mm/ comprimento: 390 mm/ largura: 100 mm/ resistência mínima de 3 MPa) | un | 13,0 | 1,73 | 22,49 |
| Bloco de concreto reciclado para vedação (altura: 200 mm/ comprimento: 390 mm/ largura: 100 mm/ resistência mínima de 3 MPa) | um | 13,0 | 0,58 | 7,54 |

Fonte: TCPO (2012) e Mercado e Construção (2017), adaptado.

Com base na tabela anterior foi determinado o custo total na construção de 1m² de alvenaria de bloco de concreto convencional e comparada com alvenaria de bloco com material reciclado (tabela 6).

Tabela 6 - Custo total para obtenção de 1 m² de alvenaria de vedação

| Tipo de alvenaria | Custo total (R\$) |
|----------------------------------------------|-------------------|
| Bloco de concreto convencional (10x20x39 cm) | 35,311142 |
| Bloco de concreto reciclado (10x20x39 cm) | 20,361142 |

Fonte: Costa (2017)

Para efeito de análise e compreensão da economia entres os dois tipos de alvenaria citados anteriormente foi estabelecida a construção de uma residência com 250m² como referência, onde se chegou à conclusão que construir com o bloco de concreto reciclado representa um custo de R\$ 20,36 por metro quadrado, já com o bloco concreto convencional representa um custo de R\$ 35,31.

No que se refere à comparação em relação à sustentabilidade foi investigada a quantidade de insumos utilizados para a fabricação do bloco convencional de concreto (informadas pela fabricante), com base em 8 (oito) unidades fabricadas de blocos convencionais e reciclados (Tabela 7).

Tabela 7 – Quantidade de insumos para produção de 8 unidades de blocos.

| | Pó de pedra/ Pedrisco (kg) | Areia (kg) | Cimento (kg) | Água (l) | Agregado reciclado (kg) |
|-----------------------------------|-------------------------------|------------|--------------|----------|----------------------------|
| Bloco de concreto convencional | 35 | 30 | 7,5 | 8,0 | - |
| Bloco de concreto reciclado | - | - | 7,5 | 10,0 | 65 |

Fonte: Costa (2017).

A partir das quantidades de insumos para fabricar artefatos de concreto, identificou-se o bloco que agrediria, em maior escala, o meio ambiente. Na fabricação do bloco de concreto convencional foram utilizados recursos (pó de pedra/pedrisco e areia), além do cimento e água. Já no processo de fabricação

do bloco de concreto reciclado foi usado apenas RCD, cimento e água. Podemos concluir que usando o resíduo para confeccionar blocos de concreto causa menos impacto ambiental.

3.3 - Estudo realizado por Borges (2013)

Borges (2013) dividiu seu estudo em duas etapas, sendo a inicial relativa à coleta, ensaios de amostras de blocos com base no processo de fabricação não controlado (empírico) e amostra de blocos produzidos com traço padrão pré-definido. Na segunda etapa, os grupos foram caracterizados e monitorados em grupos, verificando as melhorias das propriedades do material após a adoção de um traço padrão e posterior aferição da variabilidade de resultados, após os confrontar.

Na etapa inicial para caracterização empírica foram usados 54 blocos (14x19x39cm) fabricados pela ONG Solidariedade, com mão de obra voluntária. A quantidade escolhida de blocos foi o suficiente para que fizessem todos os ensaios (Figura .

Figura 19 – Blocos fabricados pela ONG Solidariedade



Fonte: Borges (2013)

Os agregados de RCD usados na fabricação dos blocos, foram oriundos de resíduos de construção, alguns de doações, e outros, coletas. Todos os resíduos foram armazenados na ONG, onde foram trituradas e homogeneizadas, com auxílio

de um triturador e de uma peneira manual (Figura 20). O material foi dividido em duas granulometrias diferentes: uma maior (AR1) e a outra menor (AR2). Esses agregados foram levados ao Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais (LEME) da Universidade Federal do Rio grande do Sul (UFRGS), onde deveriam atender a NBR NM 248 (ABNT, 2003).

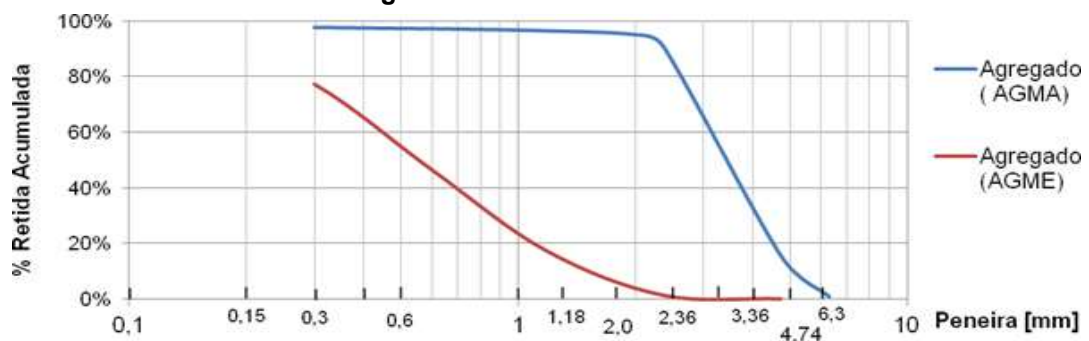
Figura 20 – Triturador de resíduos e peneira manual



Fonte: Borges (2013)

O resultado do ensaio de granulometria indicou que as duas frações produzidas se enquadram na norma e se classificam como agregados miúdos, pois se concentram abaixo de 4,8 mm. Um dos agregados apresenta aspecto de areia média-grossa/RCD miúdo – AR1 e outro areia fina-pulverulenta/ RCD mais fino - AR2. A granulometria dos agregados com aspecto de areia média-grossa (AGMA) foi identificada na cor azul e da areia fina-pulverulenta (AGME), na cor vermelha.

Figura 21: Granulométrica do RCD



Fonte: Borges (2013)

Para fabricação dos blocos, foi permitido que se ajustassem os traços de acordo com sua experiência empírica (Tabela 8).

Tabela 8 – Traços de RCD (AR2) e RCD (AR1)

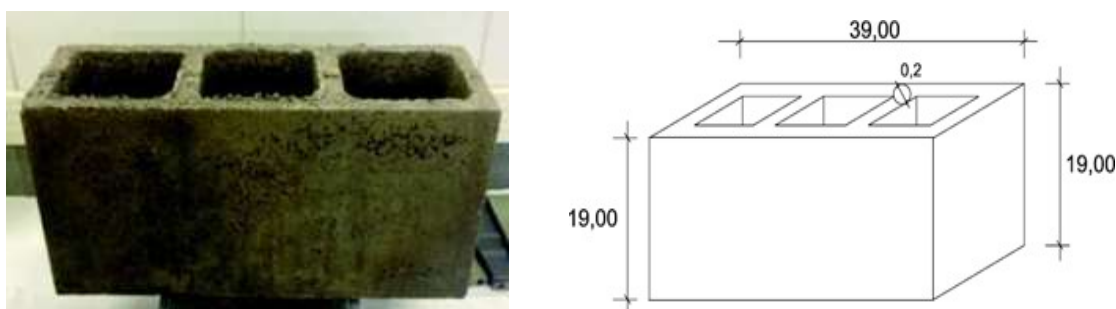
| Traço (%) | (RCD) AR2 | (RCD) AR1 |
|-----------|-----------|-----------|
| 1:7 | 4,5 | 2,5 |
| 1:6 | 4,0 | 2,0 |
| 1:5 | 3,0 | 2,0 |

Fonte: Borges (2013)

O cimento utilizado foi CPIV, porém não foi adotado nenhum tipo de controle (traço, volume de água, o tempo que o traço ficou na betoneira e o tempo de cura). O objetivo da Etapa I foi estabelecer um traço padrão, aplicada na segunda etapa do estudo para realizar uma nova moldagem com maior nível de controle, cuja geometria se verifica na Figura 22.

Na etapa II do estudo, foram confeccionados, na ONG Solidariedade, com mão de obra voluntária, da população do bairro Cristal de Porto Alegre, 21 blocos (14x19x39cm) e 21 corpos de provas cilíndricos (10x20cm).

Figura 22 – Geometria do bloco



Fonte: Borges (2013)

Nessa etapa I, foram cumpridos os procedimentos descritos na NBR 5738 (ABNT, 2003) e utilizou-se o RCD em 100% de substituição do agregado natural. Fixou-se o traço em 1:5 (cimento: agregado) em massa, sendo a massa de agregado constituída de 60% de agregado RCD maior (tipo areia média-grossa) e 40% de agregado RCD menor (tipo areia fina). A proporção foi escolhida com base nos estudos anteriores desenvolvidos com auxílio de Laboratório de Ensaios e Modelos

Estruturais (LEME) da Universidade Federal do Rio grande do Sul (UFRGS) e nos resultados da primeira etapa.

Na etapa II, o processo produtivo foi padronizado, sendo controladas as quantidades de agregado, de água e de cimento (empregados em massa), conforme descrito abaixo, na Tabela 10. Os RCDs foram adicionados inicialmente (secos), colocados na betoneira de eixo vertical, em seguida, adicionou-se o cimento CP V ARI MAX, misturando-se por aproximadamente 4 minutos. Adicionou-se água lentamente até verifica-se a homogeneidade da mistura.

Tabela 9 – Quantidade de materiais utilizados para fabricação em série.

| Betonada | Tempo (min) | RCD (AGME) (kg) | RCD (AGMA) (kg) | Água (kg) | Cimento (kg) | a/c |
|----------|-------------|-----------------|-----------------|-----------|--------------|------|
| 1 | 8,25 | 68,16 | 36,19 | 17,19 | 22,2 | 0,77 |
| 2 | 8,11 | 68,12 | 36,24 | 17,96 | 22,3 | 0,81 |
| 3 | 6,12 | 67,97 | 36,22 | 16,79 | 22,3 | 0,75 |

Fonte: Borges (2013)

O processo de cura foi realizado na própria ONG Solidariedade e os corpos de prova foram armazenados em local abrigado e cobertos com lona plástica. No quinto dia, quando já tinham resistência suficiente para o manejo, foram transportados para o laboratório LEME, onde ficaram aguardando a realização dos ensaios.

O ensaio de resistência à compressão foi realizado nas idades de 7, 14 e 28 dias. Verificou-se conformidade de dimensões dos blocos (Tabela 4) e utilizaram-se os procedimentos descritos na NBR 5739 (ABNT, 2007). O ensaio de absorção de água por imersão foi realizado aos 28 dias e realizado em três dias.

Os três blocos e os três corpos de prova cilíndricos submetidos ao ensaio permaneceram na estufa sob a temperatura de 110°C durante 24h. Depois de retirados, foram pesados em uma balança hidrostática de precisão, para obtenção de massa (m1). Após resfriamento natural, permaneceram em ciclo de imersão na água por 24h sob a temperatura de 23°C para saturação. Posteriormente, foram pesados a cada duas horas e suas leituras realizadas (Tabela 10) para obtenção de massa (m2). Desta forma avaliou-se a quantidade de água absorvida (a%) pelos blocos e corpos de prova cilíndricos através da equação 2.

Equação 2 – Absorção de água

$$a\% = \frac{(m_2 - m_1) \times 100}{m_1}$$

Fonte: Borges (2013)

Os requisitos normativos para os ensaios são os que se referem a blocos de concreto sem função estrutural, conforme a NBR 12118 (ABNT, 2013).

Tabela 10 – Leituras de obtenções de massa no ensaio de absorção.

| Bloco | Idade | Massa 1 (kg) | Massa 2 (kg) |
|----------------------|--------------|----------------------|---------------------|
| 1 | 28 | 8,81 | 10,15 |
| 2 | 28 | 10,40 | 11,84 |
| 3 | 28 | 9,11 | 10,27 |
| CP Cilindrico | Idade | Massa 1 (kg) | Massa 2 (kg) |
| 1 | 28 | 2,37 | 2,74 |
| 2 | 28 | 2,44 | 2,87 |
| 3 | 28 | 2,24 | 2,64 |

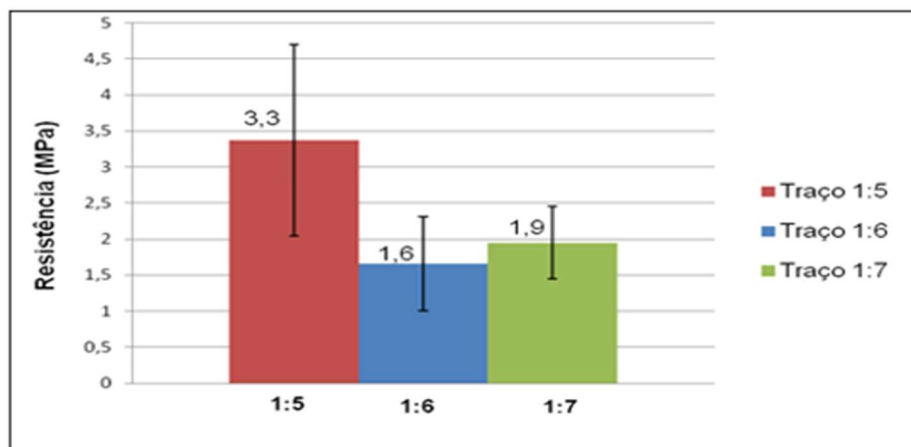
Fonte: Borges (2013)

Os resultados do total de 54 blocos fabricados na primeira etapa da pesquisa, indicaram 20 blocos que chegaram ao laboratório LEME sem condições de serem testados, pois quebraram no manuseio. A perda foi de 37%. De acordo com o gráfico da figura 11, dos 34 blocos rompidos para teste de resistência à compressão, 38% ficaram acima de 2,5MPa na média total e acima de 2,0MPa na média individual.

O estudo identificou que, mesmo com um teor de substituição maior de agregado por cimento, o traço 1:7 (cimento: agregado) em massa demonstrou melhor desempenho do que o de 1:6 (cimento: agregado) em massa. O traço de melhor desempenho alcançado na análise de resultados trata-se do traço 1:5 (cimento: agregado) em massa, que possui três quantias de AGMA para duas quantias iguais

de AGME. A fabricação controlada em série fixou este traço padrão para as amostras testadas em blocos e corpos de prova cilíndricos.

Figura 23 – Resistência a compressão em função do agregado reciclado



Fonte: Borges (2013)

Na etapa II de produção em série, foram ensaiados 18 blocos de vedação e 18 corpos de prova cilíndrica. Foram verificadas inicialmente as dimensões dos blocos com precisão de 0,5 mm e sua espessura mínima de paredes de 16 mm, atendendo às normas. Resultados apresentados na tabela 11.

Tabela 11 – Conformidade de dimensões dos blocos de vedação.

| Descrição | Largura | Altura | Comprimento |
|------------------------------------|---------|--------|-------------|
| (Blocos de 15 cm nominais) M-15 | 14 | 19 | 39 |

Fonte: Borges (2013)

O ensaio de resistência à compressão axial simples foi realizado conforme as normas NBR 12118 (ABNT, 2013) e NBR 5739 (ABNT, 2007). As Figuras 33 a e 33 b mostram alguns corpos de prova durante o ensaio.

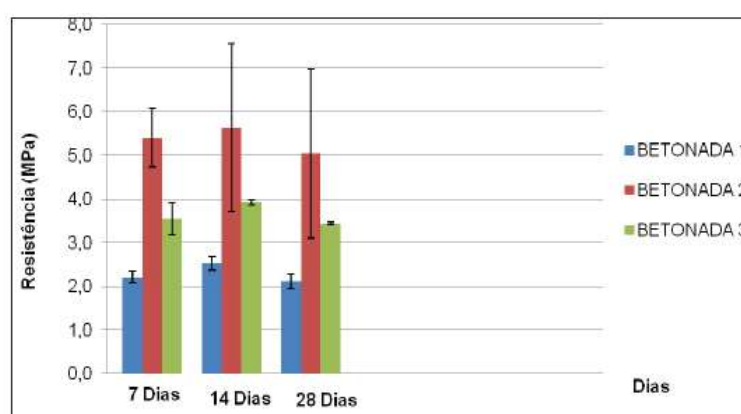
Figura 24 – Ensaio de resistência à compressão simples: Bloco de vedação (a) e corpo de prova (b)



Fonte: Borges (2013)

Foi analisada a variação da resistência à compressão com a idade de cura para os blocos de vedação submetidos ao ensaio (Figura 24). O melhor desempenho da atuação conjunta dos agregados na fabricação dos blocos e nos corpos de prova cilíndricos foi aos 14 dias de cura, observando-se uma queda aos 28 dias. O ganho aos 14 dias de cura foi significativo: um aumento da resistência de 44% em relação ao de menor valor entre os blocos produzidos. Observou-se também que o melhor desempenho foi quando se incluiu maior quantidade de água.

Figura 25 – Resistência à compressão simples de blocos de vedação em diferentes idades de cura



Fonte: Borges (2013)

Com infiltração de água por absorção, os três blocos e os três corpos de prova cilíndricos avaliados verificou-se ampla capacidade de absorver o líquido. A absorção dos blocos fabricados com RCD foi maior do que a dos fabricados

com agregados naturais, o que pode interferir na resistência do material produzido com esse agregado, pois aumenta a porosidade e índice de vazios no estado endurecido. Uma das formas de compensar a interferência no estado fresco seria realizar uma compensação da absorção do agregado por meio de pré molhagem do agregado reciclado, o que, neste processo investigatório, não foi realizado

O resultado do ensaio realizado na pesquisa de Bigolin (2013) com o mesmo agregado RCD estudado, ou seja, CTSA (Cooperativa Centro de Transformação Sócio Ambiental), demonstrou que as amostras submetidas ao ensaio de absorção ficaram inferiores ao limite de 17% estabelecidos pela NBR 15.116 (ABNT, 2004), para agregados reciclados mistos. O aumento significativo de absorção verificado em algumas amostras é sensível, mas tolerável, pois, quanto menor a granulometria do material, maior a absorção de água (LEITE, 2010).

A quantidade de água absorvida (a%) pelos blocos e pelos corpos de prova cilíndricos submetidos ao ensaio demonstrou que os blocos satisfazem aos limites estabelecidos pela norma. O mesmo não se aplicou aos corpos de prova cilíndricos, pois dois deles ficaram acima dos limites normativos, conforme descrito na Tabela 5. Esta elevada taxa de absorção verificada pode ser em função de algum erro de adensamento do material nas formas cilíndricas.

Os resultados obtidos através do ensaio de absorção de água por imersão nos blocos de vedação indicam o peso dos blocos em função do tempo, até não se verificar diferença superior a 5% de massa, em duas pesagens sucessivas. Os resultados estão indicados na Figura 26.

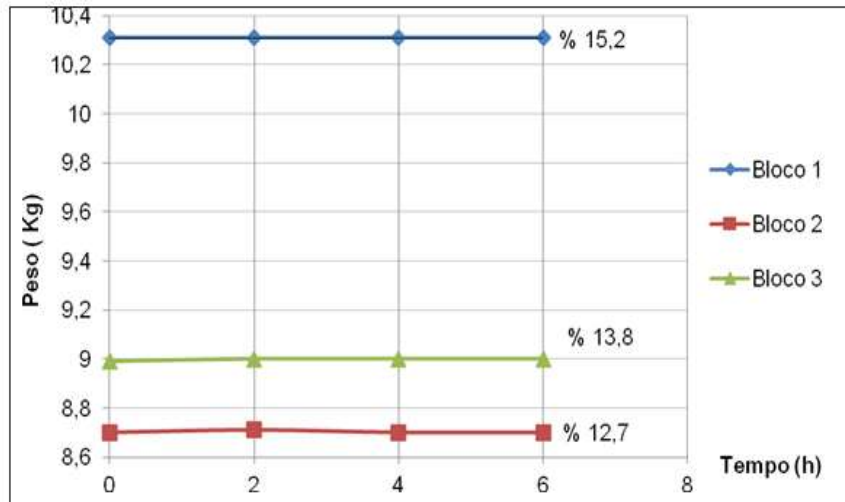
Tabela 12 – Quantidade de água absorvida (a%) nos blocos e cilindros

| Betoneira* | Bloco | Absorção de água (%) | Limite especificado na NBR 15116, (ABNT, 2004) (%) |
|------------|----------------------|----------------------|----------------------------------------------------|
| 1 | 1 | 15,2 | <17,00 |
| 2 | 2 | 13,9 | |
| 3 | 3 | 12,7 | |
| | CP Cilíndrico | | |
| 1 | 1 | 15,7 | |
| 2 | 2 | 17,5 | |
| 3 | 3 | 17,9 | |

Fonte: Borges (2013)

Os resultados mostram uma semelhança das taxas de absorção entre as amostras ensaiadas. Todas apresentaram resultados inferiores aos limites estabelecidos pela NBR15.116 (ABNT, 2004)

Figura 26 – Ensaio de absorção de água (%) em função do tempo.



Fonte: Borges (2013)

Um bloco, quando produzido com quantidade de água insuficiente para o perfeito adensamento, apresenta uma superfície porosa, sujeita a absorver água com mais facilidade.

O resultado mostra que os blocos fabricados na primeira betonagem, apresentaram maior capacidade de absorver água, já o corpo de prova cilíndrico de maior absorção de água foi o da terceira betonagem. Essas divergências entre valores podem ser resultado de erros no processo produtivo.

4. Conclusões

Após a leitura dos trabalhos sobre os uso RCD foi elaborada a síntese a seguir (Tabela 13).

Tabela 13. Comparação entre traço, absorção e resistência dos autores analisados

| | 100% DE RCD | | |
|-----------------|-------------|--------------|------------------------------------------|
| | TRAÇO | ABSORÇÃO (%) | RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (Mpa) – 28 DIAS |
| De Paula | 1:6:0,6 | 15,59 | 2,03 |
| Costa | 1:6:0,4 | 11,00 | 2 a 3 |
| | 1:8:0,52 | 11,00 | 2 a 3 |
| Borges | 1:5 | 13,9 | 5,00 |
| | 1:6 | — | — |
| | 1:7 | — | — |

Fonte: Autoria própria

Na análise da absorção de água do bloco com o RCD, os resultados demonstraram que o bloco RCD possui uma alta taxa de absorção de água, pois possui materiais porosos na composição, o que implica alta absorção, o que resulta em menor resistência. Segundo Borges (2012), o bloco com adição com 100% de RCD teve 13,9% a mais de absorção de água, no entanto, todos os valores constantes foram inferiores ao valor máximo permitido pela norma NBR 15116 (ABNT, 2004)

Borges (2013) apresentou vantagens do bloco reciclado para um convencional, por ser mais leve e agilizar o trabalho na construção com maior produtividade na execução de alvenarias.

Observou-se também a idade dos blocos que foram de 28 dias, e que a melhor betonada foi a 2, porque o fator água e cimento foi maior, porém o melhor, obtendo uma maior resistência à compressão.

Entretanto no estudo realizado por Borges (2013), foram mencionados três traços (1:5, 1:6 e 1:7) que usaram apenas RCD como agregado, porém, o autor não mencionou a absorção de água nos blocos de concreto dos traços 1:6 e 1:7, assim como a resistência dos respectivos traços.

No estudo realizado por Costa (2017), os blocos utilizados atenderam à norma NBR 6136 (ABNT 2016), estando estes entre 2 MPa a 3 MPa. Os autores identificam necessidades de maiores estudos que verifique aspectos como: Análise sobre a durabilidade do bloco reciclado em uma edificação; Pesquisas de possíveis fornecedores de tal produto no Brasil, analisando de forma mais precisa o custo para a concepção do bloco de concreto reciclado; Verificação do melhor tipo de RCD (cerâmico ou não cerâmico) que poderá ser utilizado na fabricação dos blocos; Definir a melhor granulometria para obter o melhor produto, atendendo às características: durabilidade, absorção, economia de cimento e resistência; Conferir se o acréscimo de aditivos hidrofugantes poderá contribuir para a redução excessiva de água dos blocos de concreto que utilizem o RCD, além de definir a quantia ideal de aditivo; Realizar a comparação dos blocos de concreto feitos com 100% de RCD e confeccionados com os cimentos disponíveis no mercado para indicar com maior precisão qual teria o melhor desempenho e custo benefício.

REFERÊNCIAS

AMADEI, D.I. B. Avaliação de Blocos de Concreto para Pavimentação Produzidos com Resíduos de Construção e Demolição do Município de Juranda/PR. **Tese de Mestrado**. Universidade Estadual de Maringá, Maringá. P.26-56, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Emenda 1:2008 – Concreto – Procedimentos para moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2003.

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

_____. **NBR 5739:** Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 6136: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos** - Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 7211:2009 Agregados para concreto – Especificação.** Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 9778:2009 Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.** Rio de Janeiro, 2009.

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

_____. **NBR 12118:2013 Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Métodos de ensaio.** 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.

Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição. **ABRECON**. Disponível em :<http://www.abrecon.org.br/o-que-e-entulho/>. Acesso em: 06, jul., 2021.

Aterro sanitário de Maceió funciona há 4 anos, mas ainda é mal utilizado. G1 AL. Disponível em: <https://g1.globo.com/al/alagoas/noticia/2014/08/aterro-sanitario-de-maceio-funciona-ha-4-anos-mas-ainda-e-mal-utilizado.html>. Acesso em: 22, set., 2021.

BRASIL, LEI Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Dispõe sobre Lei que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 15, ago, 2021.

BRASILEIRO, L.L; MATOS, J.M.E. Reutilização de Resíduos da Construção e Demolição na Indústria da Construção Civil. Rev. Scielo, p. 178-189, 2015.

CUNHA, U. V. L. Terra-cimento: contribuição para o estudo da casa de baixo custo. Tese de Mestrado, EESC-USP, São Carlos. P.3,1978.

FILHO, J.A.P. et al. Gerenciamento dos Resíduos de Demolição Gerados nas Obras de um Edifício Localizado na Zona Leste da Cidade de São Paulo/SP. **Desenvolvimento em Questão**, n. 30, p. 265-305, 2015.

FILHO, J.A.P; DUARTE, E.B.L. Gerenciamento dos Resíduos de Construção nas Obras de Um Edifício Comercial Localizado na Cidade de São Paulo: Foco nos Aspectos Ambientais e Econômicos. **XVIII SEMEAD Seminários em Administração**, p. 01-16, 2015.

HOOD, R.S.S. Análise da viabilidade técnica da utilização de resíduos de construção e demolição como agregado miúdo reciclado a confecção de blocos de concreto para pavimentação. **Tese de Mestrado**, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

LEVY, S.M. Produzindo concretos ecologicamente e politicamente corretos. **Exacta**, São Paulo, v. 4, n. 2, p. 375-384, 2006.

Lovato, P. S. Verificação dos parâmetros de controle de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição para utilização em concreto. **Tese de Mestrado**, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

PINTO, T.P. Metodologia para gestão diferenciada de resíduos sólidos de construção urbana. **Tese de Mestrado**, Escola Politécnica, USP, São Paulo, 1999.

RIBEIRO, C.C; PINTO, J.D.S e STARLING, T. Materiais de Construção Civis. In Ribeiro C, **editora UFMG, Escola de engenharia da UFMG**. Belo Horizonte, v1, p.13-53, 2006b.

SANTIAGO, Cybèle Celestino. O solo como material de construção. 2ª Edição. Salvador-Bahia: **Editora de UFBA**, p. 34-68, 2001.

SANSÃO, J. H. Gerenciamento de resíduos de construção civil e demolição na cidade de Juiz de Fora – MG - (Dicas para construtores e projetistas). Tese (Especialização em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais UFMG, Belo Horizonte, 2009.

TENÓRIO, J. J. L. Avaliação de Propriedades do Concreto Produzido com Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição Visando Aplicações Estruturais, **Tese de Mestrado**. UFAL, Maceió. P. 47-91, 2007.

TORGAL, F.P; EIRES, R.M.G e JALALI, S. Construção em Terra., Guimarães, Portugal, **Editora Publidisa**. v1, p.10-187, 2009b.