



Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Rondônia
Núcleo de Tecnologia
Departamento de Engenharia Civil

Bruna Caroline Campos Batista

**ESTUDO DE PROPRIEDADES DE ARGAMASSA PRODUZIDA COM RESÍDUOS
RECICLADOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Porto Velho

2020

BRUNA CAROLINE CAMPOS BATISTA

**ESTUDO DE PROPRIEDADES DE ARGAMASSA PRODUZIDA COM RESÍDUOS
RECICLADOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal de Rondônia como parte das
exigências para a obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Diego Henrique de Almeida

Porto Velho

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Fundação Universidade Federal de Rondônia
Gerada automaticamente mediante informações fornecidas pelo(a) autor(a)

B333e Batista, Bruna Caroline Campos.

Estudo de propriedades de argamassa produzida com resíduos reciclados da construção civil / Bruna Caroline Campos Batista. -- Porto Velho, RO, 2020.

53 f. : il.

Orientador(a): Prof. Dr. Diego Henrique de Almeida

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) -
Fundação Universidade Federal de Rondônia

1.Agregado miúdo reciclado. 2.Argamassa. 3.Construção civil.
4.Resíduos. I. Almeida, Diego Henrique de. II. Título.

CDU 624:658.2

BRUNA CAROLINE CAMPOS BATISTA

**ESTUDO DE PROPRIEDADES DE ARGAMASSA PRODUZIDA COM
RESÍDUOS RECICLADOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

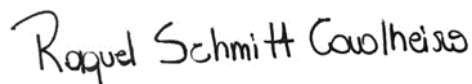
Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal de Rondônia como parte das
exigências para a obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Porto Velho, 16 de dezembro de 2020.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Diego Henrique de Almeida (orientador)
Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal de Rondônia



Profª. Drª. Raquel Schmitt Cavalheiro (Membro Externo)
EESC – Universidade de São Paulo



Prof. Dr. André Luís Christoforo (Membro Externo)
DECIV – Universidade Federal de São Carlos

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela minha vida e de meus familiares.

À minha mãe, Alba, pois sem ela eu não chegaria a lugar algum, bem como a todos meus familiares que me ajudaram direta ou indiretamente e ensinaram a importância de se ter família.

Ao meu namorado, Jorge, por estar sempre ao meu lado, me incentivando.

Aos meus amigos que fiz durante o curso, Júlia, Ingrid, Gabriela, Adva, Ketelyn, Samara, Fábio, obrigada pela parceria, pelos trabalhos em grupo, por serem compreensivos e por estarmos sempre torcendo uns pelos outros.

Aos professores da banca examinadora Raquel e André, assim como a todos os professores que contribuíram para minha formação, principalmente ao professor Diego Henrique, meu orientador, por me ajudar em diversos momentos do curso.

Aos técnicos Arione e Pedro, colegas Amanda e Áquila, Prof. Raduan, pela contribuição em minha pesquisa.

A PRS Recicladora pela doação dos resíduos utilizados em minha pesquisa.

Por fim agradeço a todos que contribuíram de alguma forma para que esse momento acontecesse.

“Os que se encantam com a prática sem a ciência são como os timoneiros que entram no navio sem timão nem bússola, nunca tendo certeza do seu destino”.

Leonado da Vinci (1452-1519)

BATISTA, Bruna Caroline Campos. **Estudo de propriedades de argamassa produzida com resíduos reciclados da construção civil**. 2020. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Rondônia. 2020.

RESUMO

O surgimento do conceito de sustentabilidade proporciona estudos em busca de novas técnicas para o desenvolvimento de novos produtos para a construção civil, empregando o reaproveitamento dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD). Diante disso, intensificam-se os estudos de aplicação desses resíduos reciclados da construção civil em diversos materiais de construção como por exemplo, na argamassa. O desenvolvimento dessa pesquisa ocorreu por um processo de confecção e experimentos de um material para construção civil a partir de um resíduo classe A, seguindo as seguintes etapas: pesquisa bibliográfica descritiva sobre desenvolvimento de produtos para construção civil utilizando material reciclado; caracterização de RCD; para fins de comparação de propriedades (porosidade e resistência à compressão) sendo produzido um traço de argamassa utilizando 0% de substituição sendo 1:1:6 (cimento, cal, agregado miúdo natural), um traço com 50% de substituição do agregado miúdo natural pelo agregado reciclado sendo 1:1:3:3 (cimento, cal, agregado miúdo natural, agregado miúdo reciclado) e um traço com 100% de substituição sendo 1:1:6 (cimento, cal, agregado miúdo reciclado), para melhor interpretação dos resultados das propriedades, porosidade e resistência a compressão, foi realizada uma análise estatística sendo realizada através do teste de Tukey (5% de significância) que foi utilizado para investigar a influência dos fatores isolados (tipo de argamassa e período de cura) nos valores da resistência à compressão e da porosidade das diferentes formulações de argamassa que foram fabricadas. Por meio dos resultados obtidos foi possível verificar a viabilidade técnica da utilização de agregados miúdos à base de resíduos da construção e demolição, de acordo com os parâmetros obtidos para a argamassa no estado fresco e para os valores médios de resistência à compressão das argamassas no estado endurecido. Houve acréscimo na porosidade da argamassa quanto maior o teor de agregado reciclado utilizado, sendo o maior valor igual a 40,65% com 28 dias de cura.

Palavras – chaves: Agregado miúdo reciclado, Argamassa, Construção Civil, Resíduos.

BATISTA, Bruna Caroline Campos. **Study of properties of mortar produced with recycled waste from civil construction.** 2020. 53 f. Monography (Graduation in Civil Engineering) - Federal University of Rondônia. 2020.

ABSTRACT

The emergence of the concept of sustainability provides studies in search of new techniques for the development of new products for civil construction, using the reuse of Construction and Demolition Waste (RCD). Therefore, studies on the application of these recycled residues from civil construction in various construction materials, such as mortar, are intensified. The development of this research took place through a process of making and experiments with a material for civil construction from a class A waste, following the following steps: descriptive bibliographical research on the development of products for civil construction using recycled material; characterization of RCD; for the purpose of comparing properties (porosity and compressive strength) a mixture of mortar is produced using 0% substitution, being 1: 1: 6 (cement, lime, natural fine aggregate), a mixture with 50% substitution of fine aggregate. natural by the recycled aggregate being 1: 1: 3: 3 (cement, lime, natural fine aggregate, recycled fine aggregate) and a line with 100% substitution being 1: 1: 6 (cement, lime, recycled fine aggregate), for better interpretation of the results of the properties, porosity and resistance to compression, a statistical analysis was carried out using the Tukey test (5% significance) which was used to investigate the influence of the isolated factors (type of mortar and curing period) the values of compressive strength and porosity of the different mortar formulations that were manufactured. Through the results obtained it was possible to verify the technical feasibility of using fine aggregates based on construction and demolition residues, according to the parameters obtained for the mortar in the fresh state and for the average values of compressive strength of the mortars in the state hardened. There was an increase in the porosity of the mortar the higher the content of recycled aggregate used, the highest value being 40.65% with 28 days of curing.

Keywords: Recycled kid aggregate, Mortar, Construction, Waste.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Cimento Portland	20
Figura 2 – Cal Hidratada	21
Figura 3 – Amostras de materiais	35
Figura 4 – Amostra de Resíduo miúdo misto de Construção Civil	36
Figura 5 – Ensaio de determinação da composição granulométrica	37
Figura 6 – Ensaio de determinação de massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman	37
Figura 7 – Ensaio de resistência à compressão dos corpos de prova.....	39
Figura 8 – Resultados do gráfico de curva granulométrica.....	42
Figura 9 – Argamassas fabricadas: (a) de referência; (b) com 50% de agregado miúdo reciclado misto; (c) com 50% de agregado miúdo reciclado misto.....	43
Figura 10 – Resultados do gráfico de Pareto para a resistência à compressão (a) e para a porosidade (b).....	45

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação de resíduos da construção civil	27
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição das formulações (em gramas)	38
Tabela 2 – Resultados ensaio de granulometria.....	41
Tabela 3 – Resultados da resistência à compressão e da porosidade referente aos nove tratamentos experimentais idealizados.....	44
Tabela 4 – Resultados do teste de Tukey para resistência à compressão e porosidade.....	45

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

AC I – Argamassa Colante Industrializada

AC II - Argamassa Colante Industrializada

AC III - Argamassa Colante Industrializada

AC E - Argamassa Colante Industrializada

BC - Cimento *Portland* de Baixo Calor de Hidratação

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CPB - Cimento *Portland* Branco

CP I – Cimento *Portland* Comum

CP II - Cimento *Portland* Composto

CP III - Cimento *Portland* de Alto Forno

CP IV - Cimento *Portland* Pozolânico

CP V ARI - Cimento *Portland* de Alta Resistência Inicial

ICC – Indústria da Construção Civil

MF – Módulo de Finura

PGRCC – Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil

RCD – Resíduos da Construção e Demolição

RS - Cimento *Portland* Resistente a Sulfatos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA	15
1.2 OBJETIVOS	15
1.2.1 Objetivo geral	15
1.2.2 Objetivos Específicos	15
2 JUSTIFICATIVA	16
3 REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1 INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL	17
3.2 MATERIAIS DA CONSTRUÇÃO CIVIL	18
3.2.1 Materiais aglomerantes	19
3.2.2 Agregados	22
3.3 ARGAMASSA	23
3.3.1 Trabalhabilidade	24
3.4 ARGAMASSA DE REVESTIMENTO.....	24
3.5 ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO.....	25
3.6 ARGAMASSA DE REVESTIMENTO CERÂMICO	25
3.7 RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL	26
3.8 IMPACTOS CAUSADOS PELOS RCCS	28
3.8.1 Utilizações dos resíduos classe A	29
3.9 APLICAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM ARGAMASSAS	30
3.10 LEGISLAÇÃO APLICÁVEL A GESTÃO DE RESÍDUOS	31
4 MATERIAIS E MÉTODOS	35
4.1 MATERIAIS	35
4.2 MÉTODOS	36
4.2.1 Caracterização dos agregados miúdos reciclados e naturais	36
4.2.2 Formulação das Argamassas	38
4.2.3 Confeção de corpos de prova	38
4.2.4 Resistência à compressão e porosidade da argamassa no estado endurecido	39
4.2.5 Análise Estatística	40
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
6 CONCLUSÃO	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é uma das atividades mais antigas realizadas pela humanidade, sendo que sua demanda é responsável pela geração de alto volume de resíduos provenientes da construção e demolição, Morand (2016) relata que há indícios da reutilização desses resíduos de obra após a Segunda Guerra Mundial, onde surge a necessidade de reconstruir as cidades Europeias, que tiveram seus edifícios totalmente demolidos e seus escombros foram usados na produção de agregados visando atender a demanda daquela época; e completa afirmando que embora as técnicas de reciclagem dos Resíduos da Construção Civil (RCC) tenham evoluído, não se pode afirmar com absoluta convicção que a reciclagem tenha se tornado uma ideia amplamente difundida, principalmente no Brasil.

Calcado (2015) afirma que o desenvolvimento da reciclagem dos resíduos visa uma melhoria constante na qualidade de vida do ponto de vista ambiental, reduzindo assim, os RCC gerados pela indústria da construção civil e descartados de forma indevida.

Atualmente, existe uma classificação adequada para os resíduos da construção civil dada pela Resolução 307 do CONAMA, onde são divididos em classe A, B, C e D. Sendo os materiais classe A passíveis de reutilização na própria construção civil, podendo ser reutilizados em pavimentação e como agregados para concreto e argamassa.

Morand (2016) define a argamassa como um material de construção constituído por uma mistura homogênea de um ou mais aglomerantes, agregado miúdo e água, sendo que os RCC podem ser utilizados substituindo totalmente ou parcialmente o volume de agregado miúdo.

Segundo a Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (ABRECON), a utilização desse resíduo como agregado na produção de argamassa possui diversas vantagens, podendo serem citadas: redução no consumo do cimento e da cal e ganho de resistência à compressão (ABRECON, 2019).

Jochem (2013) afirma que a argamassa produzida utilizando resíduo de construção possui diversos benefícios, sendo um dos principais, a geração de boa quantidade de finos, aumentando a plasticidade e a coesão.

Uma característica observada por Calcado (2015) que deve ser considerada uma desvantagem é que, o que dificulta o retorno do RCC ao processo construtivo é a sua heterogeneidade em relação a seus componentes e às suas quantidades. Essa heterogeneidade ocorre devido a quantidade de materiais distintos que compõem o RCD.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

A indústria da construção civil destaca-se como maior consumidora de recursos naturais e geradora de resíduos, e a destinação final desses resíduos, na maioria das vezes, ocorre de maneira incorreta, causando problemas sociais e ambientais e daí surge a necessidade de reutilizar esses resíduos na própria construção civil.

Como viabilizar a prática de reutilização de RCD na própria construção civil? Como viabilizar a utilização de RCD em produção de argamassa?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo desta pesquisa é verificar a viabilidade técnica da fabricação de argamassa incorporando em sua formulação diferentes quantidades de Resíduo de Construção e Demolição (RCD) em substituição ao agregado miúdo convencional.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar coleta e caracterização do agregado reciclado;
- Determinar proporção da mistura (formulação);
- Realizar moldagem e cura dos corpos-de-prova;
- Determinar o índice de consistência da argamassa reciclada no estado fresco;
- Determinar os índices de porosidade;
- Determinar a resistência à compressão da argamassa reciclada em estado endurecido nas idades de 7, 14 e 28 dias de cura.

2 JUSTIFICATIVA

A indústria da construção civil é um setor comumente lembrado pelo alto consumo de recursos naturais e por gerar índice significativo de resíduos, comumente chamados de RCD, esses resíduos refletem em impactos ambientais quando são descartados de forma incorreta, por isso, é tão importante uma gestão de resíduos eficiente para que maior parte desses materiais sejam reciclados e reutilizados futuramente.

A Resolução 307 de 2002 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) estabelece critérios e diretrizes para a gestão dos resíduos da construção civil, os resíduos classe A deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou encaminhados a áreas de aterro de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura.

Havendo a reutilização desses resíduos na própria construção civil, automaticamente, ocorre a minimização do consumo irracional de recursos naturais, além de proporcionar uma economia significativa no custo da obra.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico deste trabalho é estruturado em tópicos, sendo eles: indústria da construção civil; materiais da construção civil; argamassa; resíduos da construção civil; aplicação de resíduos da construção civil em argamassas.

3.1 INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL

A construção civil é uma das atividades mais antigas da humanidade, pois ela está presente desde os primórdios da civilização, sendo um setor que está sempre trazendo inovações. Este setor é um dos mais importantes para a economia do país, pois tem a função de impulsionar o desenvolvimento econômico através de obras de infraestrutura e edificações, e por esse motivo, também está vulnerável a recessões a depender da situação econômica do país.

A construção civil é um ramo em crescimento devido a existente demanda por construções de residências, estradas, indústrias, etc., justificando sua importância por ser essencial à população, ao desenvolvimento das cidades e a economia do país (SANTO *et. al.*, 2014).

Nos últimos anos observa-se um grande aumento populacional, conseqüentemente, a expansão das cidades refletindo diretamente no intenso crescimento da Indústria da Construção Civil (ICC), por isso, a ICC enfrenta o impasse de conciliar seu crescimento lucrativo e produtivo com a sustentabilidade, pois é um setor que conta com um intenso consumo de recursos naturais.

Além do alto consumo de recursos naturais, a ICC é responsável por aproximadamente 50% do CO₂ lançado na atmosfera, além de ser responsável por produzir quase metade do volume de resíduos sólidos do mundo (HADAS *et. al.*, 2018).

Atualmente, esse setor vem tendo a preocupação com o descarte adequado dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD), com isso vem aumentando cada vez mais no país, a quantidade de empresas que coletam e reciclam esses resíduos, evitando que esses sejam descartados em lugares indevidos, como por exemplo, em terrenos vazios e até mesmo nas margens dos rios e igarapés, causando danos ao meio ambiente.

O RCD, são aqueles que podem ser reutilizados ou reciclados na própria obra como agregados, tais como: materiais cerâmicos, tijolos, azulejos, blocos, telhas, placas de revestimento, argamassa, concreto e solos resultantes de obras de terraplanagem. Se não

forem aproveitados na própria obra, esses resíduos devem ser encaminhados para usinas de reciclagem ou aterros de resíduos da construção civil e armazenados de modo a permitir sua reutilização ou reciclagem futura (EQUIPE DE OBRA, 2011).

Uma solução, que a cada dia ganha força entre os pesquisadores, é a reciclagem de RCD e sua reutilização na própria construção civil, como matéria-prima alternativa. Além de redução da superexploração de jazidas minerais para extração de recursos naturais não renováveis, há também, a carência de locais para a deposição desses resíduos, fazendo com que as distâncias entre os locais de demolição e as áreas de disposição sejam cada vez maiores, onerando os custos de transporte. A reciclagem de RCD contribui também para a ampliação da vida útil dos aterros, especialmente em grandes cidades, em que a construção civil é intensa e há escassez de área para deposição (BRASILEIRO; MATOS, 2015).

A reciclagem tem surgido como uma forma de amenizar a ação nociva dos resíduos no ambiente urbano, gerando ainda novos produtos comercializáveis. Desta forma, os agregados reciclados de RCD (Resíduos de Construção e Demolição) podem ser utilizados em diversos novos produtos, como argamassas, concretos e blocos de construção (ÂNGULO, 2000).

Segundo Brasileiro; Matos (2015), a reciclagem de RCD traz benefícios econômicos e ambientais para as cidades em que é implantada. Além da diminuição dos custos de gerenciamento do resíduo, o custo do produto reciclado é bem menor que o agregado natural.

3.2 MATERIAIS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Bauer (2008), relata em sua obra que os materiais de construção são de suma importância para a história da humanidade, que desde seus primórdios, foi dividida conforme a utilização de alguns materiais, é o caso da Idade da Pedra, Idade do Bronze.

Na construção civil, os materiais podem ser definidos como todo objeto ou substâncias que são utilizadas tanto em obras de edificações como em obras de infraestrutura, sendo os principais materiais utilizados na construção civil: concreto, argamassa, blocos cerâmicos, tijolos, telhas, madeira, aço, vidro, tintas, cal, etc; esses materiais apresentam variações entre si quanto às suas funções, composição, característica física, e também quanto às suas propriedades.

Os materiais de construção podem ser simples ou compostos, obtidos diretamente da natureza ou resultado de trabalho industrial. Seu uso correto depende em grande parte da solidez, durabilidade, custo e acabamento das obras (OLIVEIRA, 2015), segundo Bauer (2008), a evolução dos materiais de construção dá-se de forma rápida, por isso, os

profissionais devem permanecer atualizados, de modo que é necessário o estudo desse assunto seja constante em toda a sua vida profissional.

Partindo do ponto de vista econômico e sustentável é importante que os materiais tenham custos reduzidos em sua aquisição, aplicação, assim como, em sua manutenção, pois esses materiais devem ser utilizados de maneira consciente evitando gerar grande volume de resíduos e desperdício de materiais, para isso, a Resolução CONAMA 307 (2002) recomenda a elaboração do Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC), onde se prevê as estratégias de não geração, redução e minimização de resíduos.

3.2.1 Materiais aglomerantes

Hagemann (2011) define materiais aglomerantes como produtos que possuem propriedade ligante, são utilizados na construção civil para fixar ou aglomerar materiais entre si, normalmente, são apresentados em pó, e quando misturados em água endurecem por secagem natural ou reações químicas. Os principais aglomerantes são: Cal, Cimento e Gesso. Sendo a NBR 11172 (ABNT, 1990) que classifica os aglomerantes em aéreo e hidráulico.

Segundo a NBR 11172 (ABNT, 1990), aglomerante aéreo é a pasta que endurece por reações químicas do anidrido carbônico CO_2 e que após estar em estado endurecido não apresenta boa resistência quando submetido a ação da água, exemplos de aglomerante aéreo são: Cal aérea e Gesso.

Ainda de acordo com a NBR 11172 (ABNT, 1990), aglomerante hidráulico é a pasta que endurece apenas em contato com a água, e em estado endurecido apresenta boa resistência quando submetido a ação da água, são exemplos de aglomerante hidráulico: Cimento *Portland* e Cal hidráulica.

O termo cimento origina-se do latim, com significado de pedra natural de rochedos e não esquadrejada, é um material que existe há cerca de 4.500 anos.

De acordo com o Guia Básico de Utilização do Cimento Portland, (ABCP, 2002, p.6) é possível destacar que:

As características e propriedades desses concretos e argamassas vão depender da qualidade e proporções dos materiais que são compostos. Dentre eles, entretanto, o cimento é o mais ativo, do ponto de vista químico. Pode-se dizer que o cimento é o principal responsável pela transformação da mistura dos materiais componentes dos concretos e das argamassas no produto final desejado (uma laje, uma viga, um revestimento etc.). Portanto, é de fundamental importância utilizá-lo corretamente. Para isto, é preciso conhecer bem suas características e propriedades, para poder melhor aproveitá-las da melhor forma possível na aplicação que se tem em vista.

A Associação Brasileira de Cimento *Portland* (ABCP) define o cimento como um pó fino (Figura 1), que apresenta propriedades ligante, aglomerante e aglutinante, proveniente do calcário e argila; endurece quando colocado em contato com a água; é um dos materiais mais consumidos na ICC devido a sua versatilidade, pois pode ser utilizado desde a confecção de artefatos como na construção de edificações, estradas, etc; é um material que confere boa trabalhabilidade, alta durabilidade, resistência a cargas às argamassas e concreto.

Figura 1 – Cimento *Portland*



Fonte: Itambé (2019)

Existem oito tipos de Cimento *Portland* para atender as necessidades de variados tipos de utilização, são: Cimento *Portland* Comum (CP I), Cimento *Portland* Composto (CP II), Cimento *Portland* de Alto Forno (CP III), Cimento *Portland* Pozolânico (CP IV), Cimento *Portland* de Alta Resistência Inicial (CP V – ARI), Cimento *Portland* Resistente a Sulfatos (RS), Cimento *Portland* de Baixo Calor de Hidratação (BC), Cimento *Portland* Branco (CPB).

A cal virgem pode ser utilizada em diversos setores, como por exemplo, ICC, indústria petroquímica, química, etc. Na construção civil ela é comumente utilizada na fabricação de argamassas, pavimentação, e também na área de saneamento básico, sendo utilizada como uma das substâncias para o tratamento de água.

A NBR 7175 (ABNT, 2003) traz a definição da cal hidratada sendo proveniente da hidratação da cal virgem, resultado da calcinação de carbonatos de cálcio e magnésio, ela é

formada essencialmente da mistura de óxido de cálcio e óxido de magnésio ou a mistura destes citados com o hidróxido de cálcio, resultando em um pó de cor branca (Figura 2).

Figura 2 – Cal Hidratada



Fonte: Mauá (2019)

A ABNT NBR 7175:2003, classificada a cal hidratada em três tipos, que são: Cal Hidratada CH-I; Cal Hidratada CH-II; Cal Hidratada CH-III. Sendo que quando a Cal Hidratada for entregue em sacos, devem conter as siglas correspondentes CH-I, CH-II, CH-III, denominação normalizada, massa líquida, nome, marca do fabricante, impressos de forma visível, frente e verso, sendo de 40mm a 60mm a altura mínima e máxima, respectivamente.

O gesso para construção civil é definido através da NBR 13207 (ABNT, 2017) como um material moído em forma de pó branco, proveniente da calcinação da gipsita, é constituído de sulfato de cálcio podendo haver aditivos controladores do tempo de pega.

O gesso para construção civil é classificado em quatro tipos: gesso fino para revestimento; gesso grosso para revestimento; gesso fino para fundição; gesso grosso para fundição. Cada tipo deve atender as especificações da NBR 13207 (ABNT, 2017), sendo uma das principais especificações o Módulo de Finura (MF), o MF de gesso fino para revestimento e gesso fino para fundição deve ser inferior a 1,10; para gesso grosso para revestimento e gesso fino para fundição deve ser superior a 1,10.

Além de atender a esses requisitos, o gesso também deve ser entregue em sacos indicando de forma visível o tipo correspondente, nome e a marca do fabricante, além disso, os sacos de gesso devem ser armazenados em locais secos e protegidos, para preservação da qualidade, e de fácil acesso à inspeção e identificação de cada lote.

3.2.2 Agregados

Os agregados são o recurso natural mais consumido no mundo, e constituem em cerca de 85% a massa dos produtos cimentícios. Seu consumo representa aproximadamente 20.000 milhões de toneladas/ano (ALMEIDA, 2014).

Os agregados são compostos minerais, sólidos e inertes, que são classificados em agregado miúdo e agregado graúdo a depender de sua granulometria; esses agregados são utilizados na produção de concreto, argamassa, que são produtos aplicados em diversos tipos de serviços.

A NBR 9935 (ABNT, 2011) define agregado como o material granular pétreo, sem forma ou volume definidos, a maioria das vezes quimicamente inerte, obtido por fragmentação natural ou artificial, com dimensões e propriedades adequadas a serem empregados em obras de engenharia.

A NBR 7211 (ABNT, 2009) o agregado miúdo é definido como um tipo de areia de origem natural ou proveniente de britamento de rochas estáveis, ou mistura de ambas, seus grãos passam pela peneira de malha com abertura nominal de 4,8 mm e ficam retidos na peneira cujos grãos passam pela peneira ABNT 4,8 mm e ficam retidos na peneira 0,15 mm.

Esta norma também define que agregado graúdo são pedregulhos ou britas provenientes de rochas estáveis, cujos grãos passam por uma peneira de malha com abertura nominal de 152 mm e ficam retidos na peneira 4,8 mm.

Quanto à sua origem, os agregados podem ser naturais ou provenientes da britagem de rochas; também existem os agregados obtidos através de processos industriais para conferirem determinadas propriedades às argamassas ou concreto; existem também os agregados reciclados que são os agregados resultantes da reciclagem de Resíduos da Construção e Demolição – RCD (SOUSA, 2010).

Segundo Santana (2018), os agregados reciclados são definidos pela NBR 15116 (ABNT, 2004), como material granular procedente do beneficiamento de resíduos de construção e demolição da construção civil, que apresentam características adequadas para a utilização em obras de edificação e infraestrutura. Sendo a parte desse material passante na peneira de 4,75 mm, chamado de agregado miúdo reciclado.

Os agregados reciclados apresentam-se como um material com grande heterogeneidade devido à grande variabilidade da composição RCC. Essa grande heterogeneidade leva ao agregado reciclado apresentar uma variação em suas características e propriedades de acordo com a composição do RCC, os equipamentos utilizados em seu

beneficiamento, o teor de impurezas e contaminantes e a granulometria (SANTANA, 2018).

A reciclagem dos resíduos de construção civil (RCC) como agregados se mostra uma opção sustentável de redução do volume descartado de RCC, assim como do consumo de recursos naturais. Visto que o retorno do resíduo da construção civil ao sistema produtivo na forma de agregado reciclado apresenta-se como uma opção de processo de logística reversa desse material (SANTANA, 2018).

3.3 ARGAMASSA

A argamassa começou a ser produzida e utilizada há cerca de 3.000 anos, onde os povos Fenícios, Gregos e Romanos utilizavam a argamassa hidráulica que era composta por uma mistura de um material aglomerante, que na época eram as cinzas vulcânicas, com materiais inertes, utilizado para pavimentar as edificações, assentar e revestir os blocos que formam as paredes e os muros das mesmas (MIRANDA, 2009).

A argamassa é uma “mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou instalação própria”, de acordo com a NBR 13281 (ABNT, 2005, p.6).

A argamassa é resultado da mistura de cimento, agregado miúdo (areia) e água, quando é acrescentado o agregado graúdo (pedra britada) essa mistura passa a ser chamada de concreto, a partir das décadas de 1970 e 1980 a fim de melhorar as características do concreto e da argamassa, passa a ser incorporado aditivos plastificantes e superplastificantes nesses materiais (COIMBRA; MORELLI, 1999).

Como descrito por Miranda (2009), anteriormente as argamassas eram produzidas in loco, devido a isso as matérias-primas eram transportadas individualmente e armazenadas no próprio canteiro até o momento de sua utilização.

Entretanto, atualmente, visando a otimização de tempo, custo financeiro, qualidade no desempenho do material, assim como, a otimização de espaço no canteiro de obras, foi desenvolvida a tecnologia que possibilita a produção industrial da argamassa para construção.

Ainda de acordo com a NBR 13529 (ABNT, 2013), existem diferentes tipos de argamassa quanto à aplicação: argamassa de revestimento, argamassa de revestimento cerâmico, argamassa de assentamento.

As argamassas devem possuir propriedades de modo a satisfazer as funções à qual se destina, proporcionando qualidade e durabilidade aos revestimentos. As principais

propriedades necessárias são: trabalhabilidade, retração, aderência, permeabilidade à água, resistência mecânica e capacidade de absorver deformações (CANEDO; BRANDÃO; PEIXOTO FILHO, 2011).

3.3.1 Trabalhabilidade

Para Carasek (2007), a trabalhabilidade é a propriedade, no estado fresco das argamassas, que determina a facilidade com que podem ser misturadas, transportadas, aplicadas, consolidadas e acabadas.

A trabalhabilidade é uma propriedade com conceito subjetivo, a qual deve ser entendida como a maior ou menor facilidade de dispor a argamassa em sua posição final de forma adequada, sem comprometer a execução da obra em termos de rendimento e custo (PIAZZA, 2012).

Segundo Davidson apud Filomeno (1993) “a trabalhabilidade é a mais importante propriedade da argamassa no estado plástico”. Não se pode produzir uma argamassa de alta qualidade, se a mesma no estado plástico não possuir propriedades satisfatórias.

Segundo Filomeno (1993), a noção de trabalhabilidade é, muito mais subjetiva que física, sendo que o componente físico mais importante é a consistência, isto esta 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.

3.4 ARGAMASSA DE REVESTIMENTO

Segundo a NBR 13529 (ABNT, 2013), a argamassa para revestimento é “uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento”

Segundo Oliveira (2015), a argamassa de revestimento é utilizada para revestir paredes, pisos e tetos, preparando-os para receber acabamentos como pintura, revestimentos cerâmicos, laminados e outros. O revestimento pode ser constituído de várias camadas, exercendo funções importantes como impermeabilização e regularização de superfícies; melhora de vedações como isolamento térmico e acústico, estanqueidade à água e gases; contribuição para a estética de fachadas, entre outros.

O sistema de revestimento argamassado é aplicado em camadas nas superfícies de paredes internas e externas, tendo a função de cobrir e proteger a alvenaria e também

elementos estruturais como pilares e vigas. Esse sistema de revestimento é, normalmente, constituído, no mínimo, por três camadas, que são: chapisco, emboço e reboco.

Chapisco é resultado da mistura de cimento e areia grossa, ele tem a função de deixar a superfície com característica rugosa, facilitando a aderência da camada seguinte; antes de se aplicar a próxima camada é necessário que espere o tempo de cura do chapisco, que, normalmente, são três dias.

Emboço é constituído por cimento, areia grossa e cal, é a camada de regularização da superfície, o emboço atua na prevenção da infiltração de águas pluviais.

A mistura de cal, cimento e areia fina resultam na argamassa para reboco, essa é a camada de revestimento utilizada para cobrir o emboço e proporcionar aspecto liso à superfície, tem como função impermeabilizar a parede.

3.5 ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO

A NBR 13281 (ABNT, 2005) define argamassa de assentamento como o tipo de pasta indicada para ligação de componentes de vedação, tijolos e blocos, no assentamento em alvenaria.

Esse tipo de argamassa é subdividido em três tipos quanto à sua aplicação, sendo a argamassa para assentamento em alvenaria de vedação, com função de vedação; argamassa para assentamento em alvenaria estrutural, com função estrutural; argamassa para encunhamento, com função de fechar a alvenaria de vedação após a última fiada de tijolos/blocos.

As argamassas de assentamento são corresponsáveis por manter a estabilidade do edifício. As juntas de argamassa preenchidas de modo incompleto ou sem uniformidade, podem gerar tensões indesejáveis, provocando diminuição da resistência inicial da parede e fissuração precoce (MEDEIROS, SABBATINI, 1993).

3.6 ARGAMASSA DE REVESTIMENTO CERÂMICO

O revestimento cerâmico deve ser realizado de acordo com os parâmetros estabelecidos pela ABNT NBR 13753:1996, recomenda-se atenção na seleção das cerâmicas, levando em consideração o nível de absorção de água, a classe de abrasão, etc. Além disso, essas placas cerâmicas devem seguir as seguintes condições: apresentar conformidade da bitola ou calibre com o que está indicado na embalagem; as placas devem estar secas; o tardo

deve estar isento de pó; etc.

No sistema de revestimento cerâmico é utilizado a argamassa do tipo colante, que é definida como uma mistura de agregados, aglomerantes hidráulicos e aditivos, que resulta em uma pasta plástica, viscosa e aderente.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) apresenta a norma ABNT NBR 14081:2004 “Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas – Requisitos”, onde a argamassa colante é classificada em quatro tipos: Argamassa Colante Industrializada – AC I é um tipo resistente às solicitações mecânicas e termoigrométricas típicas de revestimentos internos; Argamassa Colante Industrializada – AC II possui características de adesividade que permitem absorver os esforços existentes em revestimentos de pisos e paredes internos e externos sujeitos a ciclos de variação termo higrométrica e a ação do vento; Argamassa Colante Industrializada – AC III apresenta maior aderência compara às argamassas dos tipos I e II; Argamassa Colante Industrializada – tipo E, é a argamassa colante industrializada dos tipos I, II e III, porém, apresenta o tempo em aberto maior.

A grande vantagem da utilização do revestimento cerâmico reside, principalmente, nas seguintes características: durabilidade do material; facilidade de limpeza; higiene; qualidade do acabamento final; proteção dos elementos de vedação; isolamento térmico e acústico; estanqueidade à água e aos gases; segurança ao fogo; aspecto estético e visual agradável (SLIVA et al. 2015).

A qualidade e a durabilidade de uma superfície com revestimento cerâmico estão fundamentadas diretamente em conceitos relacionados aos seguintes aspectos: planejamento e escolha correta do revestimento cerâmico; qualidade do material de assentamento; qualidade da construção e do assentamento e manutenção (SLIVA et al. 2015).

3.7 RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Segundo a NBR 15116 (ABNT, 2004), resíduos da construção civil são provenientes de construções, reformas e demolições de obras civis e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: blocos cerâmicos, concreto, solo, rocha, madeira, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras. A Resolução nº 307 de 05 de julho de 2002 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) estabelece que:

Resíduos da construção civil: são 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; (Resolução CONAMA nº 307, 2002).

As vantagens da reciclagem do RCD são: economia por dispensarem a compra de materiais novos, economia pela redução dos custos de remoção dos resíduos, ganho ambiental, economia na aquisição de matéria-prima, devido à substituição de materiais convencionais, pelo RCD, diminuição da poluição gerada pelo RCD e de suas consequências negativas como enchentes e assoreamento de rios e córregos e preservação das reservas naturais de matéria-prima (INSTITUTO CENTRO DE CAPACITAÇÃO E APOIO AO EMPREENDEDOR, 2015).

No mundo, a construção civil é responsável por entre 15 e 50 % do consumo dos recursos naturais extraídos. No Brasil, em volta das grandes cidades, areia e agregados naturais começam a ficar escassos, inclusive graças ao crescente controle ambiental da extração das matérias primas. A construção civil consome cerca de 2/3 da madeira natural extraída, algumas matérias-primas tradicionais da construção civil, como cobre e zinco, têm reservas mapeadas escassas (INSTITUTO CENTRO DE CAPACITAÇÃO E APOIO AO EMPREENDEDOR, 2015).

Com o intuito de reaproveitar e dar um destino correto aos RCCs e gerar menos impactos ambientais, o CONAMA separa os resíduos em classes A, B, C e D,

Ainda de acordo com CONAMA 307 (2002) esses resíduos oriundos da indústria da construção civil são classificados em quatro classes, que são identificadas no Quadro 1.

Quadro 1: Classificação de resíduos da construção civil

CLASSE	DEFINIÇÃO
A	Reutilizáveis/ recicláveis como agregados
B	Recicláveis para outras destinações
C	Resíduos que ainda não existem tecnologias aplicáveis que possibilitem sua reciclagem
D	Resíduos perigosos provenientes do processo de construção

Fonte: Resolução 307:2002 (CONAMA), adaptado pela autora.

Sendo assim, somente os resíduos classificados como classe A, que são os tijolos, telhas, materiais cerâmicos, argamassas, entre outros, podem ser reciclados e reutilizados em materiais da mesma obra ou devem ser encaminhados para empresas recicladoras onde eles deveram passar por processo de reciclagem e serem utilizados futuramente.

Os resíduos de construções e demolições representam de 40 a 70% de todos os rejeitos sólidos nas cidades brasileiras de médio e grande porte. A produção anual gira em torno dos 84 milhões de m³ e menos da metade dessa quantidade (cerca de 46%) é reciclada (NIERO, 2016).

Segundo Piacentini (2018), no Brasil, em cidades de médio e grande porte, cerca de 40 a 70% dos resíduos gerados são provenientes de construção e demolição.

Apesar de existir as coletas de resíduos sólidos, assim como, a reciclagem, a construção civil ainda assim é um setor que gera um alto índice de resíduos sólidos proveniente das sobras do canteiro de obras e ainda é comum, em algumas cidades, o descarte desses resíduos realizado de maneira indevida, o que resulta em um meio ambiente degradado.

De acordo com uma pesquisa quantitativa realizada por Caetano *et al.*, (2016), a fase de acabamento da obra é a que apresenta maior produção de RCD, e é confirmado por sua pesquisa que cerca de 92% desses RCD gerados são passíveis de reciclagem devido maior parte dos materiais de acabamento serem resíduos classe A.

Baptista Junior; Romanel (2013) afirma que o impacto ambiental causado pela produção e descarte de resíduos da construção civil é um dos mais visíveis, comparado com outros setores, seja pela quantidade descartada diariamente ou pelo uso irracional dos recursos naturais.

O gerenciamento dos resíduos sólidos, a sustentabilidade socioambiental se edifica com base em modelos e sistemas integrados, que propiciem tanto a reutilização de materiais rejeitados quanto na reciclagem dos materiais que sirvam de matéria prima para as indústrias (SANTO *et al.*, 2014). De acordo com a Resolução CONAMA 307 (2002), gerenciamento de resíduos sólidos é o conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final adequada, sem causar danos ao meio ambiente.

3.8 IMPACTOS CAUSADOS PELOS RCCS

A indústria da construção civil no Brasil ainda é considerada um setor artesanal, necessitando de grande contingente de mão-de-obra e tendo destaque na economia nacional. Este setor é visto como alavanca para o desenvolvimento econômico e social do país, porém como reflexo desta atividade, os impactos negativos para o meio ambiente cresceram na mesma intensidade que o mercado da construção, tais como: extração de matéria prima,

consumo de energia, poluição atmosférica e geração de resíduos (PIOVEZAN JÚNIOR, 2007, p. 17).

Os RCCs são provenientes de vários setores da construção civil, como a produção de materiais, atividades de canteiro, manutenção e demolição de obras; e estes acarretam transtornos ambientais, pois são gerados em grandes volumes, não apresentam deposição final correta em maior parte dos municípios brasileiros e pelo descompromisso dos geradores com o seu manejo (MARTINS, 2015).

3.8.1 Utilizações dos resíduos classe A

Tendo em vista os danos causados ao meio ambiente pela geração de resíduos, tanto os da construção civil como os Resíduos Sólidos Urbanos e de outros setores da indústria, foi criado no início do século XXI o conceito dos 3 R's da sustentabilidade, que são ações práticas que visam estabelecer uma relação mais harmônica entre o consumidor e o meio ambiente (MARTINS, 2015)

Segundo Martins (2015, p. 17):

Os 3 R's da sustentabilidade consistem em reduzir, reutilizar e reciclar, onde, reduzir é consumir menos produtos, optar pelos que gerem menos resíduos e possuam maior durabilidade; reutilizar é usar novamente para outros fins coisas que seriam depositadas no lixo; e reciclar significa reaproveitar os materiais através da transformação destes, por processos industriais ou artesanais, produzindo matéria prima para novos produtos. Aplicando esses conceitos para o setor da construção civil, vê-se a necessidade de reduzir as perdas e desperdícios de materiais durante a execução de obras, reutilizar os resíduos provenientes de demolições para a realização de novas obras e a reciclagem dos RCC's.

Segundo a Resolução CONAMA 307 Art. 3º, os resíduos da construção civil deverão ser classificados, para efeito desta Resolução, da seguinte forma, resíduo 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 (OLIVEIRA, 2020, p.08).

Os resíduos classe A representam, em média, 50% da massa dos resíduos sólidos urbanos (PINTO, 1999; JOHN, 2000), tanto no Brasil como em outros países. As disposições

irregulares e os aterros clandestinos, ocasionados pela falta de gerenciamento, tornaram-se uma realidade no território nacional. Em 2002, com a aprovação da resolução 307, ficaram estabelecidos critérios e procedimentos para a gestão de resíduo classe A no Brasil (CONAMA, 2002). A Origem dos resíduos classe A Referente aos processos construtivos fica claro que os resíduos acabam sendo gerados devido a vários ciclos na construção, como (AGOPYAN et al., 1998 apud Oliveira, 2015, p.8): Processo de construção, Processo de manutenção e reformas e Fase de demolição de edifícios.

Segundo dados do IBGE (2000), apenas 8,2% dos municípios brasileiros fazem coleta seletiva e 71% do lixo coletado é depositado a céu aberto sem nenhum tratamento ou controle. De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, os Municípios terão de se adaptar à Política de Resíduos Sólidos que proíbe os lixões e o descarte de resíduos que possam ser reciclados ou reutilizados.

3.9 APLICAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM ARGAMASSAS

Existe uma preocupação ambiental devido ao grande volume de resíduos oriundos da construção civil, e devido a esse volume que é descartado de forma indevida, surgiu a preocupação em retorná-los ao sistema produtivo, ou seja, reciclar esses resíduos e reutilizá-los na própria indústria da construção civil.

Diante disso, intensificaram os estudos de aplicação desses resíduos da construção civil reciclados em diversos materiais de construção como por exemplo, no concreto, na pavimentação asfáltica, além dessas aplicações, os RCD's podem ser utilizados como agregados para argamassas de revestimento e de assentamento, porém, devem ser considerados parâmetros que controlem a produção e a aplicação dessas argamassas, reduzindo a variabilidade das propriedades, ocasionada pela heterogeneidade do material e para garantir um bom desempenho dos revestimentos de paredes e tetos, quanto ao aparecimento de patologias, como fissuras e descolamentos (JOICHEM, 2013).

De acordo com estudos publicados, percebe-se que a substituição de agregado miúdo por resíduo da construção civil reciclado traz bons resultados ao desempenho da argamassa.

Segundo Jochem *et al.* (2013), as argamassas produzidas com RCD apresentam vários benefícios, tais como a geração de boa quantidade de finos, aumentando a plasticidade e a coesão, liberação de cal e cimento com potencial reativo e pozolanicidade de materiais cerâmicos.

Pois, Jochem *et al.* (2013), também afirma que a argamassas confeccionadas

utilizando o agregado reciclado possui boas características para fins de revestimento, com melhores resultados em algumas propriedades, como a resistência à compressão, resistência à tração na flexão e absorção capilar, quando comparadas as argamassas que são produzidas com agregado natural, e ainda afirma que, a utilização de RCD em materiais de construção reflete em sustentabilidade social e ambiental.

Corroborando com a ideia Menezes *et al.* (2008) relata que a substituição do agregado por resíduo reciclado na confecção de argamassas pode ser efetuada com sucesso até 50% de substituição pois propiciam aumentos significativos na resistência à compressão dos corpos de prova de argamassa.

Pimentel *et al.* (2018), complementa afirmando que a substituição do agregado natural pelo reciclado melhorou a capacidade de retenção de água, o que é benéfico, pois contribui para a hidratação do cimento, resultando em maior resistência do revestimento.

Em síntese, considerando os resultados obtidos pelos autores citados acima, é possível afirmar que a substituição do agregado natural por agregado reciclado na argamassa traz resultados satisfatórios, sendo assim é uma opção com boa viabilidade técnica.

3.10 LEGISLAÇÃO APLICÁVEL A GESTÃO DE RESÍDUOS

No Brasil, há um crescente aumento do volume de RCD gerado devido à elevação do nível de vida, o aumento da densidade demográfica e o desenvolvimento tecnológico. De acordo com a ABRELPE (2013), uma importante fonte na geração de RCD são os geradores informais, para os quais dados estatísticos estão indisponíveis e podem representar uma parcela importante dos RCD gerados em um município.

No Brasil, as legislações referentes aos RCD ainda são pouco expressivas, no entanto, a resolução nº 307 do CONAMA (2002), juntamente com a Lei 12.305/10 que institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (2010), são de extrema importância, pois regulamentam definições nos aspectos que tangem os RCD, atribui responsabilidades aos geradores, transportadores e gestores públicos, estabelecendo ainda, critérios e procedimentos para gestão dos resíduos da construção civil, assim como as ações necessárias à minimização dos impactos ambientais. A PNRS propõe ainda a prática de hábitos de consumo sustentável e contém instrumentos variados para propiciar o incentivo à reciclagem e à reutilização dos resíduos sólidos, bem como a destinação ambientalmente adequada dos dejetos.

Segundo a NBR 10.004 (ABNT, 2004), resíduos sólidos são aqueles que:

Resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cuja particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções, técnica e economicamente, inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

Existe uma série de leis e normas específicas aplicáveis aos resíduos sólidos no Brasil. Contudo, a principal é a lei nº 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Todas as demais legislações auxiliares se submetem a esta lei, embora boa parte das normas tenha sido criada antes mesmo da publicação da PNRS (VGRESIDUOS, 2020).

A PNRS determina que todas as empresas tivessem responsabilidade pelos seus resíduos até a destinação ou disposição final. A lei, também, determina quais empresas deverão elaborar um Plano de Gerenciamento de Resíduos e como deve ser realizada a destinação desses materiais. Além da PNRS, existem normas específicas para o transporte de resíduos perigosos, como a ANTT 5232 e norma geral para transporte de resíduos, a NBR 13.221 (ABNT, 2020) (VGRESIDUOS, 2020).

Há, também, a portaria nº 280/20 que institui o Manifesto de Transporte de Resíduos - MTR nacional, como ferramenta de gestão e documento declaratório de implantação e operacionalização do plano de gerenciamento de resíduos e, que dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos (VGRESIDUOS, 2020).

Em questão nacional, a Lei nº 12.305, de 02 de Agosto de 2010, institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, dispondo sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluindo os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis. Essa Política objetiva a reciclagem de lixo e o correto manejo dos produtos usados com alto potencial de contaminação.

Nesta lei está inclusa a criação da logística reversa para determinados materiais como agrotóxicos, pilhas, baterias, eletroeletrônicos, pneus, lâmpadas e óleos lubrificantes. Além da determinação de que cidadãos separem o lixo doméstico nas cidades onde existe coleta seletiva, a lei prevê subsídios da União para catadores de lixo e a indústria da reciclagem. Também está contemplada nesta lei, a proibição da criação de lixões onde os resíduos são despejados a céu aberto assim como moradia e criação de animais nesses locais (SANTOS, 2015).

Todos têm responsabilidades segundo a PNRS: o poder público deve apresentar planos

para o manejo correto dos materiais (com adoção de processos participativos na sua elaboração e adoção de tecnologias apropriadas); às empresas compete o recolhimento dos produtos após o uso e, à sociedade cabe participar dos programas de coleta seletiva (acondicionando os resíduos adequadamente e de forma diferenciada) e incorporar mudanças de hábitos para reduzir o consumo e a conseqüente geração.

No âmbito municipal, existe o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) que engloba todo e qualquer resíduo (não somente os de construção) e tem como objetivo estabelecer procedimentos para a coleta dos resíduos, o transporte e para as possíveis destinações finais.

Segundo Morand (2016, p.38), o PGRS possui algumas normas e legislações que devem ser seguidas:

- a) PI-PR-039 – Gerenciamento de Resíduos Sólidos
- b) CONAMA 275/01 – Estabelece código de cores para diferentes tipos de resíduos na coleta seletiva
- c) CONAMA 307/02 – Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil
- d) NBR 10004/04 – Classificação de Resíduos Sólidos
- e) NBR 11174/90 – Armazenamento de Resíduos Classe II – Inertes e III – Não Inertes
- f) NBR 12235/92 – Armazenamento de Resíduos Sólidos Perigosos Dentro do PGRS está discriminadas as responsabilidades das áreas de gerência, além das responsabilidades do próprio plano.

Segundo Morand (2016), o gerente de contrato, por exemplo, deve cumprir os requisitos legais e contratuais (cabe ao gerente facilitar e viabilizar o cumprimento dos requisitos da licença ambiental, ou seja, deve criar o setor de meio ambiente, fazer a contratação das empresas prestadoras de serviço, etc.), garantir a manutenção do PGRS, fornecer os recursos necessários para que o setor de meio ambiente possa atender os requisitos (providenciar caçambas e construção de baias para armazenamento de resíduos quando necessário, por exemplo), entre outros. Dentro das responsabilidades do PGRS em si estão, a identificação das fontes geradoras dos resíduos sólidos, classificação dos resíduos produzidos pelo empreendimento, estimar a quantidade produzida de cada tipo de resíduo e identificar as estruturas disponíveis nas comunidades próximas ao empreendimento (locais próximos para destinação de resíduos).

Os Projetos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil devem contemplar as seguintes etapas:

- I – Caracterização: Etapa em que o gerador deve identificar e quantificar os resíduos de construção e demolição gerados no empreendimento; II – Triagem: Deve ser realizada preferencialmente pelo gerador na origem ou ser realizada nas áreas de destinação regularizadas, respeitadas as classes dos resíduos; III – Acondicionamento: O gerador deve garantir o confinamento dos resíduos desde a

geração até a etapa de transporte, assegurando, em todos os casos em que seja possível, as condições de reutilização e reciclagem; IV – Transporte: Deve ser realizado pelo próprio gerador ou por transportador cadastrado pelo Poder Público, respeitadas as etapas anteriores e as normas técnicas vigentes para transporte de resíduos; V – Destinação: Deve ser prevista e realizada em áreas de destinação regularizadas e estar documentada com Notas de Transporte de Resíduos (NTR). (MORAND, 2016, p.40)

A gestão integrada entre a sociedade e a administração pública por meio da conscientização ambiental e atuação efetiva na fiscalização pode minimizar os efeitos dessas carências. A fiscalização de pequenos geradores de RCD também é fundamental para reduzir gastos dos municípios com limpeza pública urbana, bem como minimizar o impacto ambiental (LOWEN; NAGALLI, 2020).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta os materiais e ferramentas que foram utilizados na pesquisa, bem como os métodos adotados para atingir os objetivos propostos neste estudo.

4.1 MATERIAIS

Nesta pesquisa foram utilizados os seguintes materiais:

- Cimento *Portland* CP IV Votorantim;
- Cal hidratada Itaú;
- Agregado miúdo natural proveniente de dragagem adquirido no comércio especializado de Porto Velho (RO);
- Água potável do Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Federal de Rondônia, campus Porto Velho (RO);
- Resíduo miúdo misto de Construção Civil adquirido da Processadora de Resíduos Sólidos - PRS Recicladora, sediada em Porto Velho (RO).

Amostras dos materiais cimento *Portland*, cal hidratada e agregado miúdo estão dispostas na Figura 3.

Figura 3 – Amostras de materiais



Fonte: Autora (2019).

O resíduo miúdo misto de Construção Civil utilizado nessa pesquisa foi a areia reciclada cujos grãos também passam pela peneira ABNT 4,8 mm e ficam retidos na peneira ABNT 0,075 mm, seus grãos devem ser isentos de impurezas e são provenientes da

reciclagem de resíduos classificados como classe A, de acordo com a Resolução nº 307 do CONAMA (Figura 4).

Figura 4 – Amostra de Resíduo miúdo misto de Construção Civil



Fonte: Autora (2019).

4.2 MÉTODOS

Os métodos desenvolvidos para realização da pesquisa ocorreram no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Federal de Rondônia, campus Porto Velho (RO), de acordo com os procedimentos normatizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

4.2.1 Caracterização dos agregados miúdos reciclados e naturais

Os agregados reciclados são definidos pela NBR 15116 (ABNT, 2004), como material granular procedente do beneficiamento de resíduos de construção e demolição da construção civil, que apresentam características adequadas para a utilização em obras de edificação e infraestrutura. Sendo a parte desse material passante na peneira de 4,75 mm, chamado de agregado miúdo reciclado.

Conforme ilustrado na Figura 5, afim de caracterizar o agregado miúdo natural e o agregado miúdo reciclado misto, foram realizados os ensaios de granulometria de acordo com a norma NBR NM 248 (ABNT, 2003) “Agregados: Determinação da composição granulométrica”.

Figura 5 – Ensaio de determinação da composição granulométrica



Fonte: Autora (2019).

Conforme mostra a Figura 6, também foram realizados os ensaios para estimativa da massa específica dos agregados de acordo com a NBR 9776 (ABNT, 1987) “Agregados: Determinação de massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman: Método de Ensaio”.

Figura 6 – Ensaio de determinação de massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman



Fonte: Autora (2019).

De acordo com Santana (2018), agregados miúdos reciclados apresentam propriedades diferentes das apresentadas pelos agregados miúdos naturais, destacando-se as diferenças de forma, porosidade, área específicas, massa específica, absorção de água e teor de finos.

O agregado reciclado utilizado nesta pesquisa era um material com dimensão

máxima característica inferior a 4,8 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de entulho (PRS, 2020), classificados no estrato A, segundo a Resolução CONAMA nº 307 (CONAMA, 2002).

4.2.2 Formulação das Argamassas

Foram preparadas 3 diferentes formulações de argamassas, em argamassadeira laboratorial. Uma de referência (traço R) e duas com substituições do agregado miúdo convencional: com 50% de agregado miúdo reciclado (traço I – 50%); com 100% de agregado miúdo reciclado (traço II – 100%) (Tabela 1).

Tabela 1 – Composição das formulações (em gramas)

Componentes (g)	Traço R	Traço I (50%)	Traço II (100%)
Cimento	300	300	300
Cal Hidratada	600	600	600
Agregado Miúdo	2400	1200	0
RCD	0	1200	2400

Fonte: Autora (2019).

A primeira formulação, a de referência foi definida pela proporção 1:2:8:0 (cimento; cal; agregado miúdo convencional: agregado misto). A quantidade de água utilizada na mistura foi a necessária para a massa obter consistência de 250 mm no ensaio de consistência *flow table*, de acordo com a norma NBR 13276 (ABNT, 2016) “Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: Determinação do índice de consistência”.

As demais formulações eram baseadas na referência, com substituição do agregado miúdo natural em 50%, com proporção 1:2:4:4 (cimento: cal: agregado natural: agregado misto) e com 100% com agregado reciclado, com proporção 1:2:0:8 (cimento: cal: agregado natural: agregado misto). O critério para a quantidade de água utilizada nas formulações com agregado reciclado atendeu ao mesmo utilizado para a formulação de referência.

4.2.3 Confeção de corpos de prova

Para verificação das propriedades das argamassas no estado endurecido estudadas nesta pesquisa, foram confeccionados corpos de prova cilíndricos com 10 cm de comprimento e 5 cm de diâmetro de seção transversal, de acordo com a norma NBR 7215 (ABNT, 2019) “Cimento Portland: determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos”.

Foram confeccionados 6 corpos de prova por formulação, por tempo de cura (foram considerados três diferentes tempos: 7, 14 e 28 dias), para estimativa da resistência à compressão e da porosidade, totalizando 108 corpos de prova.

4.2.4 Resistência à compressão e porosidade da argamassa no estado endurecido

Conforme a Figura 7, o ensaio de compressão dos corpos de prova foi realizado em uma máquina universal de ensaios eletrônica EMIC com capacidade de carga de 100 kN, no Laboratório de Estruturas e Ensaio Mecânicos da Universidade Federal de Rondônia.

Figura 7 – Ensaio de resistência à compressão dos corpos de prova



Fonte: Autora (2020).

A resistência a compressão (f_c) de cada um dos corpos de prova foi determinada pela razão entre a máxima força de compressão resistida pelo corpo de prova (F_c) e a área da seção transversal antes do ensaio (A) (Equação 1). Foram medidos os diâmetros de todos os corpos de prova com paquímetro digital.

$$f_c = \frac{F_c}{A} \quad \text{Eq. 1}$$

Para estimativa da porosidade dos corpos de prova, após cada um dos tempos de cura propostos nesta pesquisa, os corpos de prova foram condicionados em estufa com temperatura de $100 \pm 2^\circ\text{C}$ por 24 horas, para estimativa da massa seca (m_s) de cada corpo de prova. Após, os corpos de prova foram submergidos em água à temperatura ambiente por 24 horas e novamente pesados para estimativa da massa úmida (m_u). Por último, foi estimada a massa do

corpo de prova imerso em água pelo método gravimétrico (m_i). A Porosidade foi calculada pela Equação 2.

$$Po = \frac{[m_u - m_s]}{[m_u - m_i]} \times 100 \quad \text{Eq. 2}$$

4.2.5 Análise Estatística

Os fatores e os respectivos níveis investigados na determinação dos valores da resistência à compressão (f_c) e porosidade (Po) das argamassas fabricadas consistiram na incorporação de resíduos da construção e demolição [R] (0; 50; 100%) e no período de cura [D] (7; 14; 28 dias), o que resultou em um planejamento fatorial completo 32 composto por nove tratamentos distintos

A análise de variância (ANOVA), ao nível de 5% significância, foi utilizada para investigar a influência dos dois fatores considerados isoladamente (R, D) e da interação dos dois fatores (R×D) nos valores da resistência à compressão e porosidade das argamassas fabricadas.

Pela formulação da ANOVA, p-valor (probabilidade p) maior ou igual ao nível de significância (0,05) implica que o fator ou a interação dos dois fatores não afeta de forma significativa os valores da propriedade avaliada (F_c ou Po), e significativo (fatores ou interação) em caso contrário (p-valor < 0,05). O gráfico de Pareto foi utilizado na interpretação dos resultados da ANOVA do planejamento.

Os testes de normalidade de Kolmogorov-Smirnov e o de comparações múltiplas foram utilizados para verificar a normalidade e a igualdade de variâncias dos resíduos, respectivamente, de maneira a validar o modelo da ANOVA. Pela formulação dos testes, também avaliados ao nível de 5% de significância, p-valor maior ou igual a 0,05 implica em se aceitar a normalidade e a homogeneidade dos resíduos.

Por ser tratar de fatores a três níveis, acusada significância pela ANOVA, o teste de comparações múltiplas de Tukey (ao nível de 5% de significância) foi utilizado para o contraste das médias dos fatores isolados. Do teste de Tukey, A denota o grupo de maior valor médio, B o de segundo maior valor médio e letras iguais implicam em tratamentos com médias estatisticamente equivalentes.

Cabe destacar que foram fabricados 6 corpos de prova por tratamentos e por propriedade avaliada, o que resultou em um total de 108 determinações.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os procedimentos de ensaio de composição granulométrica para o agregado miúdo natural e reciclado seguiram os mesmos parâmetros estabelecidos na norma regulamentadora do ensaio. Por meio deste ensaio de granulometria verificou-se a porcentagem retida de material em cada peneira, conforme Tabela 2. O RCD apresenta uma maior diversificação granulométrica, enquanto o agregado miúdo natural apresenta uma concentração granulométrica com aproximação de diâmetro dos grãos. A peneira com 0,15 mm possui uma maior concentração de agregado natural, e a peneira de 0,30 mm obteve uma maior concentração do agregado reciclado.

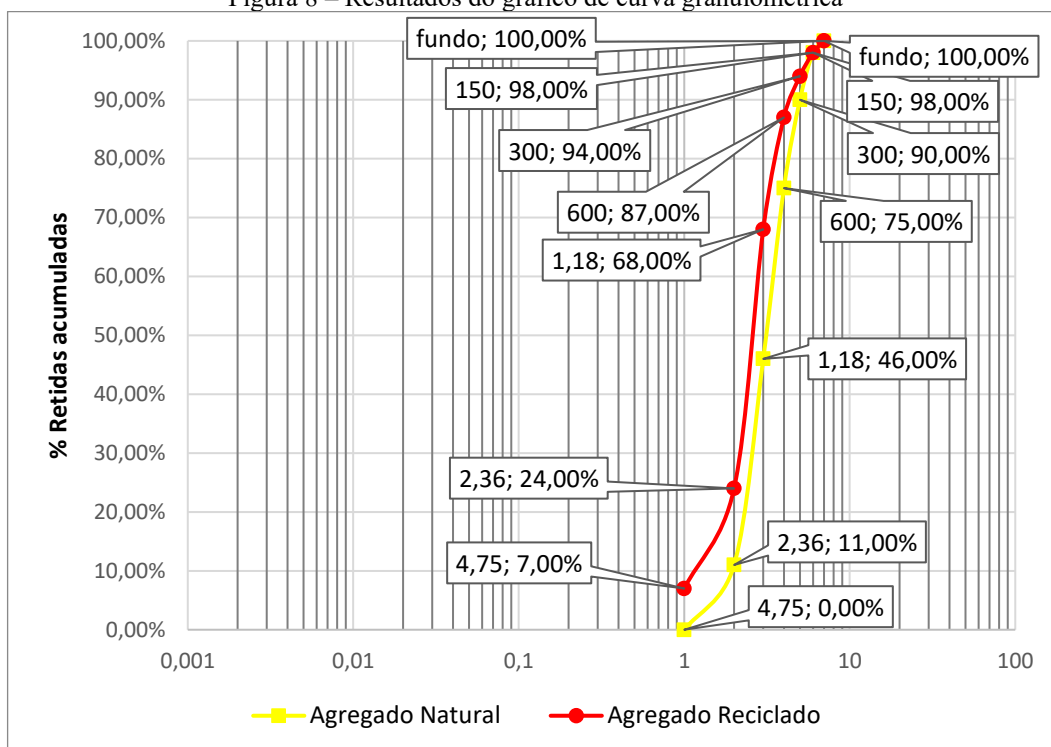
Tabela 2 – Resultados ensaio de granulometria

Abertura da peneira (mm)	Material retido (g)	% Média retida	% Média retida acumulada	Material retido (g)	% Média retida	% Média retida acumulada
4,75	0,0676	7	7	0,0027	0	0
2,36	0,1692	17	24	0,1116	11	11
1,18	0,4409	44	68	0,3462	35	46
600	0,1969	20	87	0,2835	28	75
300	0,0658	7	94	0,0571	16	90
150	0,0431	4	98	0,081	8	98
FUNDO	0,0162	2	100	0,016	2	100
Módulo de Finura Reciclado:				Módulo de Finura Natural:		
3,48				3,21		

Fonte: Autora (2019).

A Figura 8, mostra o resultado da comparação das distribuições granulométricas dos agregados natural e reciclado.

Figura 8 – Resultados do gráfico de curva granulométrica



Fonte: Autora (2020).

O ensaio de granulometria com o agregado natural resultou em um módulo de finura de 3,21, valor que se enquadra na zona utilizável superior, sendo que, conforme a NBR 7211 (ABNT, 2009), varia de 2,90 a 3,50. O ensaio com agregado reciclado resultou em um módulo de finura de 3,48 enquadrando-se também no módulo de finura da zona utilizável superior.

Segundo os autores Knob *et al.* (2019), referente ao módulo de finura, quando o agregado natural se mostra mais fino do que o agregado reciclado pode ocorrer influência diretamente nos outros ensaios, bem como nas propriedades das argamassas.

Em relação a massa específica do agregado miúdo natural e do agregado miúdo reciclado, os mesmos obtiveram os seguintes valores: 2,68 e 2,36 g/cm³, respectivamente. Pode-se observar que o agregado reciclado apresentou uma menor massa específica que o agregado natural. Knob *et al.* (2019) também obtiveram valor de massa específica menor para o agregado miúdo reciclado e afirmam que isso dá-se devido a maior quantidade de poros que os agregados reciclados possuem, e também a diversificação granulométrica maior.

Foi possível observar no ensaio na mesa de consistência que as argamassas com teores de agregado reciclado na sua formulação necessitaram de maior quantidade de água para atingir o mesmo índice de trabalhabilidade quando comparada com a argamassa de referência, apenas com agregado natural.

A água é o componente que permite a ocorrência das reações entre todos os elementos.

Sua quantidade utilizada deve seguir ao traço estabelecido, por ser um componente que possui influencia diretamente as propriedades que se quer alcançar (SZLAK *et al.* 2002). Sendo a água potável, livre de impurezas, a mais indicada para utilização na produção das argamassas.

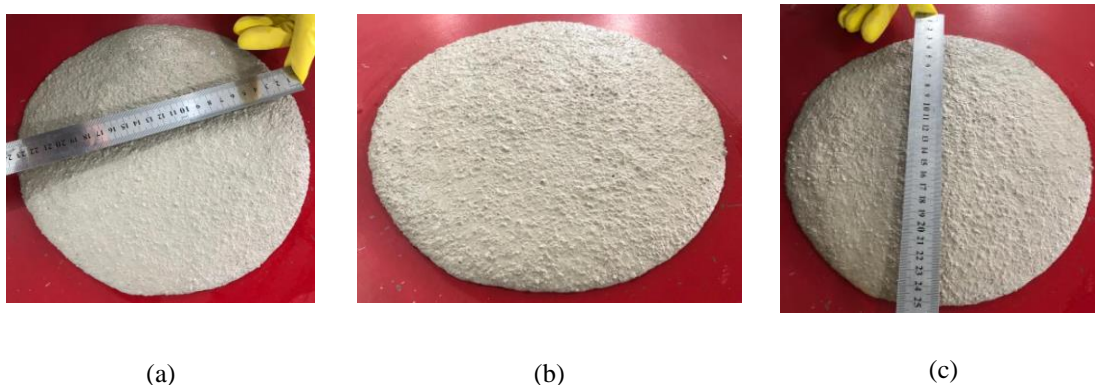
Segundo Araújo (2014), a trabalhabilidade é a principal propriedade das argamassas no estado fresco e determina a facilidade como ela pode ser misturada, transportada e aplicada aos diversos substratos, permanecendo em uma condição homogênea. Na prática, a trabalhabilidade está diretamente ligada à tarefa a ser desempenhada e suas características associadas à função a ser desempenhada.

Dutra (2019) em seu estudo comenta que caso as argamassas de revestimento não obtenham uma boa trabalhabilidade e não garantir sua correta aplicação perderá no desempenho do revestimento, já que assim, várias propriedades serão afetadas devido às condições de aplicação, como por exemplo, a aderência.

Essa maior quantidade água necessária para as argamassas com agregado reciclado é relacionada ao fato do agregado reciclado possuir maior teor de finos, com elevada capacidade de absorção de água, resultado próximo ao observado na pesquisa realizada por Pimentel *et al.* (2018) que pesquisaram argamassas com resíduos da construção civil britados.

Para o ensaio de determinação de índice de consistência, assim como apresentado por Calçado (2015), quanto à aparência das argamassas, vale destacar que não foram verificadas exsudação e segregação em nenhuma formulação, após alcançarem o espalhamento de 250 mm (Figura 9).

Figura 9 – Argamassas fabricadas: (a) de referência; (b) com 50% de agregado miúdo reciclado misto; (c) com 50% de agregado miúdo reciclado misto.



Fonte: Autora (2020).

Na Tabela 3 são apresentados os valores médios (X_m), os coeficientes de variação (CV) e os intervalos de confiança da média (IC – 95% de confiabilidade) das propriedades

investigadas referentes aos nove tratamentos delineados.

Tabela 3 – Resultados da resistência à compressão e da porosidade referente aos nove tratamentos experimentais idealizados.

Tratamentos	f_c (MPa)		
	X_m	CV (%)	IC (95%)
1 (0%; 7d)	4,58	13,62	(3,98; 5,18)
2 (50%; 7d)	3,10	10,77	(2,50; 3,70)
3 (100%; 7d)	2,01	4,68	(1,40; 2,60)
4 (0%; 14d)	4,21	9,71	(3,60; 4,81)
5 (50%; 14d)	5,07	24,62	(4,47; 5,67)
6 (100%; 14d)	4,65	14,62	(4,05; 5,25)
7 (0%; 28d)	8,26	15,03	(7,65; 8,85)
8 (50%; 28d)	6,60	2,89	(5,99; 7,20)
9 (100%; 28d)	5,73	12,77	(5,12; 6,32)
Tratamentos	Po (%)		
	X_m	CV (%)	IC (95%)
1 (0%; 7d)	26,15	1,45	(25,83; 26,46)
2 (50%; 7d)	35,08	1,23	(34,76; 35,38)
3 (100%; 7d)	41,11	0,36	(40,80; 41,42)
4 (0%; 14d)	28,35	1,58	(28,03; 28,65)
5 (50%; 14d)	33,79	1,23	(33,47; 34,10)
6 (100%; 14d)	41,51	0,59	(41,19; 41,81)
7 (0%; 28d)	27,03	1,32	(26,72; 27,34)
8 (50%; 28d)	34,44	1,62	(34,12; 34,74)
9 (100%; 28d)	40,65	0,68	(40,34; 40,96)

Das propriedades da Tabela 3, cabe destacar que os resultados do teste de normalidade (Kolmogorov-Smirnov) para a resistência à compressão e porosidade das argamassas apresentaram p-valores superiores a 5%, validando assim os resultados do intervalo de confiança da média.

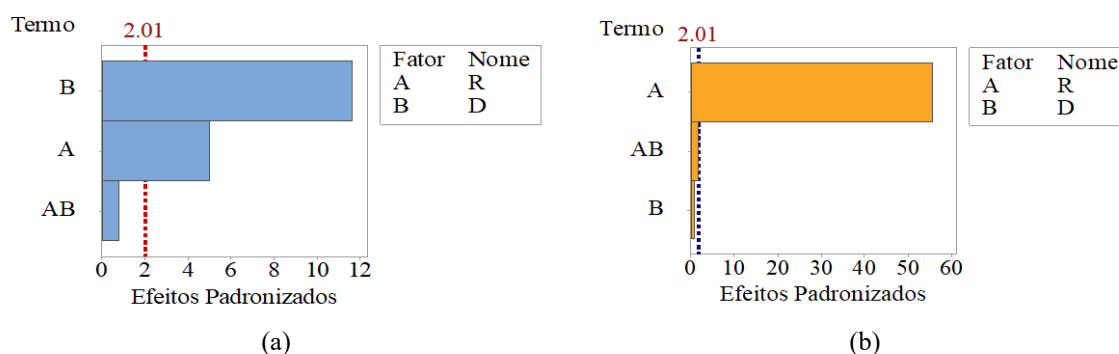
Pelos dados da Tabela 3 é possível verificar que aos 28 dias de cura, as argamassas com agregado reciclado podem ser classificadas, de acordo com a norma NBR 13281 (ABNT, 2005) “Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: Requisitos” no estrato P5, ou seja, argamassa que possui resistência à compressão maior que 5,50 MPa e menor ou igual a 9,00 MPa. A argamassa com agregado natural apresentou valor médio de resistência à compressão aos 28 dias igual a 8,26 MPa, podendo ser classificada nos estratos P5 e P6 de acordo com a norma NBR 13251 (ABNT, 2005).

Assim como determinado por Pimentel *et al.* (2018), quanto maior o teor de agregado reciclado na formulação, menores os valores médios de resistência à compressão do material. Uma possível causa dessa situação está relacionada com a porosidade, pois, como pode-se observar na Tabela 3, é possível verificar que a argamassa com 100% de agregado reciclado apresentou o maior valor médio de

porosidade e, também, o menor valor de resistência à compressão aos 28 dias.

Nos estudos de Assunção *et al.* (2007), a argamassa produzida com 50% de agregado reciclado apresentou-se com melhor desempenho de resistência e trabalhabilidade, os resultados foram satisfatórios. Os autores comentaram ainda que não há necessidade de continuidade dos estudos para que os resíduos da construção civil possam ser utilizados, de forma segura, como agregados reciclados, minimizando, dessa forma, os impactos ambientais provocados por esses resíduos. A Figura 10 apresenta os resultados do gráfico de Pareto para análise da influência dos fatores isolados (R – teor de resíduos; D – período de cura) e da interação dos mesmos ($A=R \times B=D$) nos valores da resistência à compressão e porosidade das argamassas fabricadas.

Figura 10 – Resultados do gráfico de Pareto para a resistência à compressão (a) e para a porosidade (b).



Os p-valores dos testes de normalidade e de igualdade de variâncias dos resíduos da ANOVA foram superiores ao nível de significância adotado (5%), o que valida a discussão dos resultados.

Da Figura 10a, ambos os fatores (R e D) afetaram de forma significativa os valores da resistência à compressão (f_c) das argamassas, o mesmo não ocorreu com a interação desses dois fatores. Para a porosidade (Figura 10b), apenas o fator teor de resíduo foi significativo, o que implica que nem o período de cura nem a interação entre os fatores influenciou de forma significativa nos valores da P_o .

Na Tabela 4 são apresentados os resultados do teste de Tukey para as duas propriedades avaliadas (f_c , P_o).

Tabela 4 – Resultados do teste de Tukey para resistência à compressão e porosidade.

Propriedades	Teor de resíduos (R) (%)			Dias de cura (D) (dias)		
	0	50	100	7	14	28
f_c (MPa)	5,68 (A)	4,93 (AB)	4,13 (B)	3,23 (C)	4,65 (B)	6,86 (A)
P_o (%)	27,18 (C)	34,43 (B)	41,09 (A)	34,11 (A)	34,55 (A)	34,04 (A)

Da Tabela 4, assim como esperado do gráfico de Pareto da Figura 10a, os dois fatores (R e D) afetaram de forma significativa nos valores da resistência à compressão (f_c) das argamassas. O maior valor médio (5,68 MPa) foi proveniente da não inclusão de resíduos da construção (condição de referência), e o menor (4,13 MPa) foi oriundo da inclusão de 100% de teor de resíduos. Em relação ao período de cura, sete dias resultou no menor valor médio (3,23 MPa), 14 dias em um valor intermediário (4,65 MPa) e 28 dias no maior valor dessa propriedade (6,86 MPa).

O aumento progressivo do teor de resíduos foi responsável por aumentar significativamente a porosidade das argamassas (de 27,18 para 41,09%), entretanto, o período de cura não afetou essa propriedade.

6 CONCLUSÃO

Os resultados encontrados no experimento que aqui se propôs realizar seguiram alguns passos: primeiramente foram realizados ensaios iniciais com os agregados tanto o agregado miúdo natural e o reciclado, esses ensaios que seriam de massa específica e de granulometria, para caracterizar, ou seja, confirmar que o agregado reciclado atenderia os padrões especificados em norma, esses padrões que seriam as dimensões dos grãos, teor de finos, com o objetivo de confirmar a semelhança entre os dois tipos. Nesse quesito ficou constatado que sim, ele atendeu a especificação.

Em seguida foi definido a porcentagem de substituição e o traço a ser trabalhado, definiu-se por 6 corpos de prova para cada formulação 0% 50% e 100% para cada idade de cura 7, 14 e 28 dias para realização de ensaio de porosidade e de resistência à compressão.

Em laboratório, ainda com a argamassa em estado fresco realizou-se o ensaio de consistência em mesa (*flow table*) sendo definido em norma que para ser considerada uma argamassa com boa consistência e boa trabalhabilidade ela deve atingir em média 25 cm neste ensaio; para obter essa consistência foi sendo acrescentada a água na argamassadeira até o ponto que observa-se a consistência desejável, ou seja, mais fluida, para que a argamassa atingisse a marca de 25 cm na mesa.

Percebeu-se que na argamassa preparada com 0% de reciclado, somente com cimento, cal, agregado miúdo natural e água, atingiu-se a consistência desejável mais rapidamente com menos teor de água acrescentado.

Assim, ao partir para 50% de reciclado observou-se que foi necessário acrescentar mais água para atingir a consistência. E para 100% teve que acrescentar praticamente o dobro de água para atingir a consistência desejada. Isso deve se a diversidade de materiais contidos na composição do agregado reciclado fazendo com que esse agregado apresente maior teor de materiais finos.

À medida que foi-se fazendo os preparos na argamassadeira e realizando o ensaio de consistência foram sendo moldados os corpos-de-prova. Logo, no dia seguinte, foram desenformados, e colocados submersos em água para fazer a cura. Deixando-os por 7, 14 e 28 dias.

Para o ensaio de porosidade, que é feito pesando os corpos de prova secos em estufa, submersos em água e molhados, aplicando os valores na fórmula e constatou-se que os corpos de prova com 50% de reciclado e principalmente os de 100% de reciclado estavam muito mais porosos do que o 0%. Isso porque foi acrescentado mais quantidade de água em sua

fabricação, havendo assim, em estado endurecido, maiores espaços vazios dentro do corpo de prova por isso foram constatados maiores índices de porosidade.

Depois disso, realizou-se o ensaio de resistência à compressão na máquina universal onde foi constatado que os corpos de prova fabricados com 0% de reciclado idade de 28 dias apresentaram melhor desempenho, porém em contrapartida os corpos de prova com 50% e 100% também atenderam a especificação de norma. Nas idades de 7 e 14 dias não houve muita diferença entre as formulações, todas atenderam as especificações.

Conclui-se com esta pesquisa a viabilidade técnica da utilização de agregados miúdos à base de resíduos da construção e demolição, de acordo com os parâmetros obtidos para a argamassa no estado fresco e para os valores médios de resistência à compressão das argamassas no estado endurecido. Houve acréscimo na porosidade da argamassa quanto maior o teor de agregado reciclado utilizado, sendo o maior valor igual a 40,65% com 28 dias de cura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, T.D.E.F. **Reaproveitamento de Resíduos de pó de mármore e charmote na produção de material cerâmico para isolamento térmica**. Mestrado em Ciência e Tecnologia. Curdo de Engenharia e Ciência dos Materiais da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Rio de Janeiro. p. 87. 2014.

ANGULO, S.C. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**. São Paulo, 2000. 155p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

ARAÚJO, N.N. **Desempenho de argamassas de revestimento produzidas com agregados reciclados oriundos do resíduo de construção e demolição da grande Natal – RN**. Natal, RN, 2014. 129 f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO (ABRECON). **Utilização como agregados para a confecção de argamassas**. Disponível em: < <https://abrecon.org.br/entulho/mercado/utilizacao-como-agregado-para-a-confeccao-de-argamassas/>>. Acesso em outubro/2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 13753**. Revestimento de piso interno ou externo com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante - Procedimento. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **ABNT NBR 7175**. Cal hidratada para argamassas - Requisitos. Rio de Janeiro, 2003.

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

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

_____. **ABNT NBR 13529**. Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — Terminologia. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **ABNT NBR 13276**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **ABNT NBR 13207**. Gesso para construção civil – Requisitos. Rio de Janeiro, 2017.

_____. **ABNT NBR 14081**. Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas – Requisitos. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **ABNT - 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 DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Básico sobre Cimento Portland.** Disponível em: <<https://www.abcp.org.br/cms/basico-sobre-cimento/basico/basico-sobre-cimento/>>. Acesso em: 22 nov. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento Portland.** 7.ed. São Paulo, 2002.

ASSUNÇÃO, L. T.; CARVALHO, G. F.; BARATA, M. S. **Avaliação das propriedades das argamassas de revestimento produzidas com resíduos da construção e demolição como agregado.** *Exacta*, São Paulo, v. 5, n. 2, p. 223-230, jul./dez. 2007. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81050203>>. Acesso em: 22 nov. 2020.

BAUER, F.L.A. **Materiais de Construção 1.** 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. **Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil.** *Cerâmica* 61 (2015) 178-189. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132015613581860>>. Acesso em: 22 nov. 2020.

BAPTISTA JUNIOR, J. V.; ROMANEL, C. Sustentabilidade na indústria da construção: uma logística para reciclagem dos resíduos de pequenas obras. **Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 5, n. 2, p. 27-37, 2013.

CAETANO, M. O.; SELBACH, J. B. O.; GOMES, L.P. Composição gravimétrica dos RCD para a etapa de acabamento em obras residenciais horizontais. **Ambiente Construído**, v. 16, n. 2, p. 51-67, Porto Alegre, 2016.

CALCADO, G. C. S. **Influência da adição de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição no desempenho de argamassas de Cimento Portland.** 2015. 114 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

CANEDO, Aline Crispim; BRANDÃO, Fernando Buiate; PEIXOTO FILHO, Fernando Luiz. **Reaproveitamento de resíduo de construção na produção de argamassa de revestimento.** (Trabalho de conclusão de curso Engenharia Civil) Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2011. Disponível em: <https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/140/o/REAPROVEITAMENTO_DE_RES%3%8DDUO_DE_CONSTRU%3%87%3%83O_NA_PRODU%3%87%3%83O_DE_ARGAMASSA_DE_REVESTIMENTO.pdf>. Acesso em 23 nov. 2020.

CARASEK, H. **Argamassas.** In: G. C. Isaia. (Org.). *Materiais de Construção Civil.* 1ed. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto - IBRACON, 2007, v. 1.

CIMENTO ITAMBÉ. **Normas de Cimento Portland serão unidas em uma só.** Disponível em: <<https://www.cimentoitambe.com.br/normas-de-cimento-portland-serao-unidas-em-uma-so/>>. Acesso em: 22 nov. 2020.

CIMENTO MAUÁ. **Cal hidratada ou virgem: Conheça os diferentes tipos de cal.** Disponível em: <<https://cimentomaua.com.br/blog/cal-hidratada-ou-virgem-conheca-os-diferentes-tipos-de-cal/>>. Acesso em: 20 nov. 2020.

COIMBRA, M.A.; MORELLI, M.R. Desenvolvimento de argamassas micro porosas para a construção civil. **Cerâmica**, vol.45, n.296, p. 203-206, São Paulo, 1999.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). CONAMA. **Gestão dos resíduos da construção civil.** Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>. Acesso em: 20 nov. 2020.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Brasília. 2002. **Resolução CONAMA n° 307, de 5 de julho de 2002.** Disponível em. Acesso em: 22 de setembro 2014.

DUTRA, J.F. **Levantamento bibliográfico de análises da influência do resíduo proveniente de materiais cerâmicos em argamassas.** Trabalho de Conclusão de Curso-Especialização: Tecnologia e Gestão do Ambiente Construído do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2019. Disponível em: <<https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/30976/1/1Monografia%20Juliano%20-%2017%2012%202018.pdf>>. Acesso em: 21 nov. 2020.

EQUIPE DE OBRA. **Blocos Cerâmicos.** 2011. Disponível em:<<http://equipedebra.pini.com.br/construc%20%20ao-reforma/37/blocos-ceramicos-220703-%20%201.aspx%3E.>>. Acesso em: 22 nov. 2020.

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.

JOCHEM, L. F.; ROCHA, J. C.; CHERIAF, M. Estudo comparativo entre argamassas de revestimento com agregado reciclado de RCD e com agregado de britagem. **In: Encontro Latino-Americano de Edificações e comunidades sustentáveis.** Curitiba, 2013.

FERREIRA, B.C.C.; PANIAGO, K.N.; MORAES, P. H.; SILVA, T.S. Estudo de caso: geração de resíduos da construção civil: o que fazer? **Revista Conexão Eletrônica**, Três Lagoas, v. 15, n. 1, p. 900-906, 2018.

HAGEMANN, S. E. **Apostila de materiais de construção básicos.** Instituto Federal Sul-Rio-Grandense Universidade Aberta do Brasil. Pelotas, 2011.

INSTITUTO CENTRO DE CAPACITAÇÃO E APOIO AO EMPREENDEDOR. **Reutilização e reciclagem de resíduos da construção civil.** Belo Horizonte, MG. 2015.

KNOB, G.P.L.; BELLEI, P; BARBISAN, A.O. Viabilidade técnica da utilização do resíduo da construção civil para a produção de argamassa de revestimento. **UCEFF**, v.3, n.1, Santa

Maria, 2019.

LOWEN, E.M.; NAGALLI, A. Pequenos geradores de resíduos da construção civil: prefeituras municipais e a disponibilização de informações. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade** (2020): 7(15): 43-50. ISSN 2359-1412 . Disponível em: <[https://doi.org/10.21438/rbgas\(2020\)071504](https://doi.org/10.21438/rbgas(2020)071504)>. Acesso em: 25 nov. 2020.

MARTINS, A. **Estudo dos resíduos da construção civil classe A para o município de Ilha Solteira – SP**. Trabalho de Conclusão de Curso de graduação. Curso Superior de Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil. Campo Mourão. 2015.

MEDEIROS, J. S.; SABBATINI, F. H. **Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto: produção de componentes e parâmetros de projeto**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1993.

MENEZES, R. R.; FARIAS FILHO, J.; FERREIRA, H.S.; NEVES, G.A.; FERREIRA, H.C. Reciclagem de resíduos da construção civil para a produção de argamassas. **Cerâmica**, v. 55, p. 263-270, Campina Grande, 2009.

MIRANDA, L.M.C.C. **Estudo comparativo entre argamassa de revestimento à base de cimento com adição da cal hidráulica e da cal hidratada**. 2009. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 2009.

MORAND, F. G. **Estudo das principais aplicações dos resíduos de obra como materiais de construção**. 2016. 104 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

NIERO, J. **Reciclagem de resíduos da construção civil economiza recursos naturais e reduz custos**. Fecomercio, SP. 2016. Disponível em: <<https://www.fecomercio.com.br/noticia/reciclagem-de-residuos-da-construcao-civil-economiza-recursos-naturais-e-reduz-custos>>. Acesso em: 22 nov. 2020.

OLIVEIRA, T. Y. M. **Estudo sobre o uso de materiais de construção alternativos que otimizam a sustentabilidade em edificações**. 2015. 114 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

OLIVEIRA, B.T. **Uso de resíduos de construção e demolição em argamassa para revestimento de alvenaria**. Rio de Janeiro: POLI/UFRJ, 2015. vi, 63 p.: il.; 29,7 cm. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10014872.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2020.

OLIVEIRA, B.I.S. **A utilização de resíduos classe A na pavimentação**. **Graduando em Engenharia Civil** – Centro Universitário do Norte – UNINORTE Departamento de Ciências Exatas, Manaus – Amazonas. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/artigo-brenda_finalmente_0.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2020.

PIACENTINI, P. Brasil não consegue dar o destino adequado para resíduos. **Ciência e Cultura**, v.70, n.2, São Paulo, 2018.

PIMENTEL, L. L.; PISSOLATO JUNIOR, O.; JACINTHO, A. E. P. G. A.; MARTINS, H. L. S. Argamassa com areia proveniente da britagem de resíduo de construção civil – Avaliação de características físicas e mecânicas. **Revista Matéria**, v.23, n.1, Campinas, 2018.

PIAZZA, F.A.R. **Conhecendo argamassa**. 2ª Edição. Porto Alegre: EdiPUCRS, 2012. 189 p. PIOVEZAN JÚNIOR; Gilson T. A. **Avaliação dos resíduos da construção civil (RCC) gerados no município de Santa Maria**. 2007. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

SANTANA, T.S. **Avaliação da Influência da Utilização de Agregado Miúdo Reciclado em Argamassas Estabilizadas** [Distrito Federal] 2018. xvi, 129p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Estruturas e Construção Civil, 2018). Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

SANTO, J. O.; BATISTA, O. H. S.; SOUZA, J. K. S; LIMA, C. T.; SANTOS, J. R.; MARINHO, A. A. Resíduos da indústria da construção civil e o seu processo de reciclagem para minimização dos impactos ambientais. **Cadernos de Graduação - Ciências exatas e tecnológicas**, Maceió: v. 1, n.1, p. 73-84, maio 2014.

SENTENA, J. A. A.; KAZMIERCZAK, C. S.; KREIN, L. A. Degradação de revestimentos de argamassa com finos de resíduos de concreto por ciclos térmicos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 211-224, 2018.

SOUSA, A. J. C. **Aplicação de argamassas leves de reboco e assentamento em alvenarias**. 2010. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil — Especialização em Construções) – Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009.

SLIVA, M.N.P. SILVA, M.N.P.; BARRIONUEVO, B.U.S.; FEITOSA, I.M.; SILVA, G.S. **Revestimentos cerâmicos e suas aplicabilidades**. Ciências exatas e tecnológicas | Maceió | v. 2 | n.3 | p. 87-97 | Maio 2015 |.periodicos.set.edu.br. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/230433548.pdf>>. Acesso em: 23 nov. 2020.

SPADOTTO, A.; BATISTA, G.R. Destinação dos resíduos da construção civil em Xanxaré, Santa Catarina, Brasil: possibilidades para um fim mais sustentável. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL MEGAEVENTOS E SUSTENTABILIDADE, 10, 2012, São Paulo, São Paulo. **Anais...** São Paulo, NUTAUSP, ONLINE.

VGRESIDUOS - **Resíduos sólidos: o que são, legislação a respeito e como destinar e tratar corretamente**. 27/08/2020. Disponível em: <<https://www.vgresiduos.com.br/blog/residuos-solidos-o-que-sao-legislacao-a-respeito-e-como-destinar-e-tratar-corretamente/>>. Acesso 25 nov. 2020.