

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Faculdade de Engenharia Civil
Programa de Pós-graduação em Gestão e Tecnologia da Construção Civil

Rayza França Paes Queiroz

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DE
AGREGADOS RECICLADOS PARA ARGAMASSA EM EMBOÇO DE PAREDE
INTERNA EM OBRAS DE PEQUENO PORTE**

Belo Horizonte

2021

Rayza Franca Paes Queiroz

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DE
AGREGADOS RECICLADOS PARA ARGAMASSA EM EMBOÇO DE PAREDE
INTERNA EM OBRAS DE PEQUENO PORTE**

Monografia de especialização apresentada
a Faculdade de Engenharia Civil da
Universidade federal de Minas Gerais,
como requisito parcial para obtenção do
título de especialista em Gestão e
tecnologia da construção civil

Orientador: Professor Dr. Antônio Noves
de Carvalho Júnior

Belo Horizonte
2021

Q3a Queiroz, Rayza Franca Paes.
Análise da viabilidade técnica e econômica da utilização de agregados reciclados para argamassa em emboço de parede interna em obras de pequeno porte [recurso eletrônico] / Rayza Franca Paes Queiroz. - 2021.
1 recurso online (37 f. : il., color.) : pdf.
Orientador: Antônio Neves de Carvalho Júnior.
Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Gestão e Tecnologia na Construção Civil da Escola de Engenharia UFMG.
Bibliografia: f. 33-37.
Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.
1. Construção civil. 2. Agregados (Materiais de construção) – Reaproveitamento. 3. Engenharia Econômica. 4. Sustentabilidade.
I. Carvalho Júnior, Antônio Neves de. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.
CDU: 69



ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA

ALUNO: RAYZA FRANÇA PAES QUEIROZ

MATRÍCULA: 2020688705

RESULTADO

Ao 01 dia do mês de setembro de 2021 realizou-se a defesa da MONOGRAFIA de autoria do aluno acima mencionado sob o título:

“ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS PARA ARGAMASSA EM EMBOÇO DE PAREDE INTERNA EM OBRAS DE PEQUENO PORTE”

Após análise, concluiu-se pela alternativa assinalada abaixo:

APROVADO

APROVADO COM CORREÇÕES

REPROVADO

NOTA: 92,0

CONCEITO: A

BANCA EXAMINADORA:

Nome

Prof. Dr. Antônio Neves de Carvalho Júnior

Assinatura

Antonio Neves de
Carvalho
Junior:78724104604

Assinado de forma digital por
Antonio Neves de Carvalho
Junior:78724104604
Dados: 2021.09.01 23:35:08 -03'00'

Nome

Prof. Dr. Luiz Antônio Melgaco Nunes Branco

Assinatura

Luiz Antonio Melgaco
Nunes
Branco:48639435634

Assinado de forma digital por Luiz
Antonio Melgaco Nunes
Branco:48639435634
Dados: 2021.09.02 12:45:02 -03'00'

O candidato faz jus ao grau de "ESPECIALISTA EM CONSTRUÇÃO CIVIL: "GESTÃO E TECNOLOGIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL"

Belo Horizonte, 01 de setembro de 2021

Antonio Neves de
Carvalho
Junior:78724104604

Assinado de forma digital por
Antonio Neves de Carvalho
Junior:78724104604
Dados: 2021.09.01 23:36:15 -03'00'

Coordenador do Curso

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo principal analisar se o agregado reciclado quando aplicado em argamassa para o emboço de uma obra de pequeno porte é viável tanto tecnicamente quanto economicamente quando comparado ao agregado natural. Atualmente a indústria da construção civil tem se voltado para práticas mais ecoeficientes, cuidando tanto de um aprimoramento da viabilidade econômica da obra quanto da questão ambiental, como redução e reciclagem dos resíduos gerados. Uma das alternativas que pode ser encontrada para tornar uma obra mais ecoeficiente é a utilização de agregado reciclado na fabricação de argamassas. Apesar das pesquisas para utilização do agregado reciclado já serem extensas a divulgação dessa alternativa ainda não existe muito, é observado uma resistência de engenheiros no emprego de agregado reciclado em obra por falta de conhecimento e confiabilidade do material. Para mostrar a viabilidade técnica e econômica do agregado foi feito então uma pesquisa exploratória em diversas bibliografias para esclarecer como o agregado reciclado quando empregado em funções não estruturais em obra tem o mesmo ou maior desempenho técnico e também foi feito uma simulação da utilização do agregado reciclado em emboço de parede interna de uma obra hipotética de pequeno porte para exemplificar como ele também é viável economicamente. Com a pesquisa foi observado que o agregado reciclado é viável tecnicamente, porém economicamente sua viabilidade é prejudicada devido a problemas logísticos.

Palavras-chaves: agregado reciclado; ecoeficiência; viabilidade econômica.

ABSTRACT

The main objective of this work is to analyze whether recycled aggregate, when applied in mortar for the plaster of a small project, is technically and economically viable when compared to natural aggregates. Currently, the construction industry has turned to more eco-efficient practices, improving the work's economic viability and environmental issues, such as reducing and recycling the generated waste. One of the alternatives that can be explored to make a project more eco-efficient is the use of recycled aggregate in the production of mortars. Although research about the use of recycled aggregate is already extensive, there is still little publicity about this alternative. There is resistance from engineers to the use of recycled aggregate on-site due to a lack of knowledge and reliability of the material. In order to show the technical and economic viability of the aggregate, exploratory research was carried out in several bibliographies to clarify how recycled aggregate, when used in non-structural functions on site, has the same or greater technical performance. Also, a simulation of the usage of recycled aggregate on the internal wall plaster of a hypothetical small project was also carried out to exemplify how it is also economically viable. With the research, it was observed that recycled aggregate is technically viable, however economically its viability is compromised due to logistical problems.

Keyword: recycled aggregate; eco-efficiency; economic viability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Curva granulométrica do agregado reciclado	23
Figura 2 - Fluxograma do desenvolvimento da pesquisa	27
Figura 3 - Planta da casa selecionada	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Sugestões de traços de argamassa	16
Tabela 2 - Requisitos para agregado reciclado destinado ao preparo de concreto sem função estrutural (adaptado).....	24
Tabela 3 - Levantamento quantitativo por ambiente do projeto.....	32
Tabela 4 - Levantamento de Preços	33
Tabela 5 - Tabela de Preços Areia Reciclada	34
Tabela 6 - Valores Obtidos para o Transporte	34
Tabela 7 - Resumo dos Valores de cada Agregado	35

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
1.1 Pergunta de pesquisa	10
1.2 Hipóteses	10
2 OBJETIVOS.....	11
2.1 Objetivo geral.....	11
2.2 Objetivos específicos	11
3 JUSTIFICATIVA	11
4 RESTRIÇÕES E LIMITAÇÕES	12
5 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	13
5.1 Ecoeficiência na construção civil	13
5.2 Argamassa de revestimento	14
5.2.1 Propriedades da argamassa	16
5.3 Agregados.....	21
5.3.1 Agregados Reciclados	21
5.3.2 Reciclagem do Agregado.....	22
5.3.3 Análise Técnica do Agregado Reciclado.....	22
5.3.4 Aplicações do Agregado Reciclado.....	23
5.4 Orçamento de obra	25
6 METODOLOGIA	26
6.1 Pesquisa da viabilidade técnica	27
6.2 Seleção do projeto	28
6.2.1 Levantamento Quantitativo do Projeto	28
6.2.2 Levantamento dos Custos de Cada Agregado	29
6.3 Aplicação dos agregados e seus custos	29
6.4 Comparação dos custos	29
7 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	29

7.1 Seleção do projeto	30
7.1.1 Levantamento Quantitativo do Projeto	32
7.1.2 Levantamento de Custo de Cada Agregado	33
8 CONCLUSÃO.....	35
BIBLIOGRAFIA.....	36

1 INTRODUÇÃO

Os resíduos de construção e demolição constituem uma grande porção do total de resíduos sólidos gerados no mundo (RAO; JHA; MISRA, 2007). Ainda que existam sugestões e estudos viabilizando a utilização de materiais reciclados na construção civil, a indústria da construção civil enfrenta obstáculos para ser uma indústria sustentável de sucesso (MI *et al.*, 2020; RAO; JHA; MISRA, 2007).

Existem países que reciclam cerca de 70% dos resíduos de construção e demolição, porém a utilização de materiais reciclados em obras ainda é restrita (ALEXANDRIDOU; ANGELOPOULOS; COUTELIERIS, 2018). No Brasil, a sua utilização ainda é permitida somente para funções não estruturais de uma obra (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004), contudo mesmo limitada para somente esses casos a reutilização de materiais pode contribuir para a sustentabilidade de uma obra, por meio da minimização da utilização de materiais naturais (ALEXANDRIDOU; ANGELOPOULOS; COUTELIERIS, 2018).

Tendo em vista isso, é importante que mais pesquisas sejam realizadas quando a viabilidade da aplicação de alternativas a matérias naturais na construção civil. Uma dessas alternativas é o agregado reciclado. Para isso essa pesquisa foi conduzida a fim de explicitar a já comprovada viabilidade técnica da utilização de agregado reciclado em funções não estruturais e retificar a viabilidade econômica do agregado.

Para isso, foi feito um estudo hipotético da aplicação do agregado reciclado em uma obra de pequeno porte. Foi analisado o custo por m³ do agregado reciclado comparado com o agregado natural, bem como o custo de transporte de cada um, para que o estudo possa ser aplicado em casos futuros reais.

1.1 Pergunta de pesquisa

A utilização de agregado reciclado em argamassa de emboço em parede interna é economicamente e tecnicamente viável?

1.2 Hipóteses

1ª: Tem-se a hipótese que o agregado reciclado fornece o mesmo desempenho técnico do agregado natural com um custo menor, apresentando um desempenho econômico melhor para sua utilização em obras;

2ª: Tem-se a hipótese que o agregado reciclado mesmo apresentando um desempenho técnico igual ao agregado natural, ele apresente um custo maior o que inviabiliza sua utilização.

2 OBJETIVOS

A seguir serão apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos da presente pesquisa.

2.1 Objetivo geral

Analisar se o agregado reciclado apresenta desempenho técnico igual ou superior ao agregado natural e se sua utilização é viável economicamente.

2.2 Objetivos específicos

A fim de atingir o objetivo proposto foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Analisar por meio de pesquisas se o agregado reciclado atinge o mesmo desempenho técnico quando comparado com o agregado natural;
- Aplicar hipoteticamente o agregado reciclado em emboço de paredes internas de uma obra de pequeno porte;
- Verificar se a aplicação do agregado reciclado é mais vantajosa economicamente do que a utilização de um agregado natural.

3 JUSTIFICATIVA

Com a aceleração da construção civil ao longo dos anos, os investimentos em infraestrutura no mundo (PMR, 2017) e a aceleração da urbanização, a geração de resíduos da construção civil também aumentou, chegando a atingir índices alarmantes (BRASILEIRO; MATOS, 2015). No Brasil a geração de resíduos de construção e demolição (RCD) representa aproximadamente 62% dos resíduos recolhidos pelas cidades (ABRELPE, 2018), isso quando o descarte é feito de forma regular e ainda existe uma tendência da população a perpetuar práticas incorretas de disposição de RCD (BESSA *et al.*, 2019).

Esses resíduos quando mal gerenciados trazem consequências negativas para as cidades tanto nos aspectos ambientais, quando econômicos e sociais (BRASILEIRO; MATOS, 2015). Com isso surge uma necessidade de buscar novos modelos de utilização de recursos naturais, a fim de diminuir a degradação ambiental

causada pelos avanços tecnológicos e desenvolvimentos de cidades (KARPINSKI; PANDOLFO; REINEHER, 2009).

Países da Europa buscam o gerenciamento consciente dos resíduos desde a década de 80, porém essa conscientização só chegou no Brasil no início dos anos 2000 (BRASILEIRO; MATOS, 2015). No Brasil indústria da construção civil é responsável por uma parcela representativa de impactos ambientais, sociais e econômicos, por causa de sua posição significativa na economia nacional e em busca de uma solução para a disposição de RCD (KARPINSKI; PANDOLFO; REINEHER, 2009), em 2002 entrou em vigor a Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) que, a fim de proporcionar benefícios nos âmbitos social, ambiental e econômico, estabelece regras para a gestão de resíduos da construção e demolição (BRASILEIRO; MATOS, 2015).

Uma das soluções que são pensadas para o RCD é sua reutilização como agregado na própria construção civil, tendo em vista que a produção de agregado no Brasil atualmente representa cerca de 741 milhões de toneladas no ano de 2018 (ANEPAC, 2015). Os resíduos servem de matéria prima para agregados em várias aplicações, como argamassa de revestimento, blocos pré-moldados, pavimentos, entre outros (BRASILEIRO; MATOS, 2015). Porém ainda existe uma considerável não utilização dos agregados reciclados, majoritariamente por falta de confiabilidade em sua performance (SILVA; DE BRITO; DHIR, 2019).

Logo, o estudo a ser elaborado é relevante porque apresenta um tema que é de importância para a sociedade, e para a busca de caminhos ecoeficientes e sustentáveis na construção civil.

4 RESTRIÇÕES E LIMITAÇÕES

A pesquisa foi conduzida de maneira totalmente hipotética, tendo em vista a falta de acesso a aplicação real do objeto de análise.

A pesquisa foi conduzida em um cenário não padrão, então o acesso a algumas informações foram prejudicadas, visto que existiam fornecedores que não estavam em pleno funcionamento.

A fase de infraestrutura não será analisada, porque existem muitas variáveis de terreno e localizações que devem ser consideradas, e como não existem projetos padronizados para fundações e terraplenagem essa parte do projeto não será

abordada. Além de que a etapa construtiva analisada não abrange a infraestrutura da obra.

A análise econômica será voltada para um caso específico, com somente um fornecedor de agregado reciclado, em um projeto específico de pequeno porte e para a atividade de emboço. Assim o trabalho não poderá chegar a conclusões gerais sobre todo o cenário construtivo.

5 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

Neste capítulo serão apresentados conceitos relevantes para a compreensão do trabalho e dos resultados obtidos com a pesquisa.

5.1 Ecoeficiência na construção civil

Nas sociedades primitivas a preocupação com geração de resíduos não era tratada como importante, já que não existiam muitos resíduos sendo gerados, e o que era gerado o ambiente assimilava. Porém a partir da revolução industrial esse assunto passou a ser relevante para a população. A partir do desenvolvimento tecnológico trazido por essa fase histórica assuntos como a destruição da camada de ozônio, aceleração do efeito estufa, consumo de recursos naturais não renováveis e a geração de resíduos passaram a ter destaque e entraram na agenda mundial (BRASILEIRO; MATOS, 2015).

É nesse momento que o termo desenvolvimento sustentável passa a ser discutido (BRASILEIRO; MATOS, 2015). Para Elkington (1997) a sustentabilidade está apoiada em três pilares principais, o econômico, que diz respeito aos custos de um negócio, o ambiental, que diz respeito a preservação da natureza e o social, que diz respeito a participação do negócio em benefícios para a sociedade como um todo. Para uma empresa, empreendimento ou projeto ser sustentável ela deve estar em acordo com esses três pilares (ELKINGTON, 1997).

Na construção civil, os pilares mais impactantes no imediato são os econômicos e os ambientais (BRASILEIRO; MATOS, 2015), a junção desses pilares é chamada de ecoeficiência. Ecoeficiência é uma filosofia de gerenciamento que encoraja negócios a procurar por melhorias ambientais que levem em direção a benefícios econômicos, é uma maneira de tornar negócios mais responsáveis ambientalmente e mais lucrativos ao mesmo tempo (WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT, 2006).

Economicamente falando, a construção civil representa 3,8% de todo o PIB do Brasil, é o setor da indústria que mais tem representatividade, com cerca de 50% quando comparada a outros setores (CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, 2020). Diante disso existe a necessidade de criar novos meios de tornar a construção civil mais ecoeficiente (BRASILEIRO; MATOS, 2015). Para isso foram enumerados seis princípios principais para uma construção sustentável, e entre eles está a maximização da reutilização de recursos (ZHOU; LOWE, 2003).

A busca pela ecoeficiência por meio de melhorias do descarte de resíduos e melhor aproveitamento de recursos naturais com menor impacto ambiental possível levaram a construção civil para o caminho do reaproveitamento, entre eles o agregado que continua com alta demanda ao longo dos anos (KHALAF; DEVENNY, 2004). Inclusive muitos estudos têm sido conduzidos sobre a utilização de agregados reciclados para confecção de materiais utilizados na construção, tais como telhas, tijolos e agregados leves (GOMES *et al.*, 2019).

Existem estudos que já mostram resultados satisfatórios do uso de agregados reciclados em substituição ao agregado natural para a construção de estradas (POON; CHAN, 2006), e no Brasil a Associação Brasileira de Normas Técnicas publicou diversas normas a fim de regulamentar e até mesmo estimular a utilização de agregados reciclados para funções não estruturais e de pavimentação (FRASSON; PASCHOALIN, 2017).

A utilização do agregado reciclado além de trazer benefícios para o meio ambiente, traz benefício econômicos, o fato dos RCD serem produzidos dentro da cidade diminuem o seu custo de transporte, já que a maior parte das jazidas de agregados naturais estão cada vez mais distantes dos pontos de utilização, tornando assim seu preço mais competitivo (SALVI, 2020).

5.2 Argamassa de revestimento

Uma argamassa de revestimento é constituída majoritariamente por cimento, cal, agregados, água e em menores proporções, adições e aditivos, se necessário. Uma adição não tem poder aglomerante, ela atua como um agregado com poder aglutinante, promovendo a liga da massa (CARVALHO JÚNIOR, 2005), já o aditivo é uma substância adicionada na proporção inferior a 5% do total da argamassa e tem como finalidade modificar as propriedades da mistura (COUTINHO, 1997).

Genericamente, a argamassa de revestimento é importante porque protege os elementos de vedação do edifício das ações diretas de agentes agressivos, auxilia a vedação no cumprimento de algumas de suas propriedades esperadas, como o isolamento termo acústico e estanqueidade, regulariza a base, como é o caso da argamassa de emboço, para assim receber outro tipo de revestimento, e contribui para a estética (MACIEL; BARROS; SABBATINI, 1998).

Ela pode ser identificada conforme seu modo de preparo, tem-se a argamassa preparada em obra, a qual é obtida com a mistura dos constituintes supracitados, quando leva-se em conta somente o custo dos materiais ela apresenta o menor valor comparando às outras. Tem-se também a mistura semi-pronta, a qual contém cal e areia e requer a mistura de outro ligante e água no local, a argamassa industrializada (ensacada), a qual necessitam somente da adição de água conforme rótulo e a argamassa dosada em central, a qual é fornecida no canteiro por meio de caminhão betoneira e já possui todos os constituintes misturados, inclusive a água (CARVALHO JÚNIOR, 2005).

A argamassa dosada em canteiro de obra é a mais comumente utilizada no cenário de canteiros de obras nacional (CARVALHO JÚNIOR, 2005) e sua dosagem não pode ser feita empiricamente, existem fatores que devem ser levados em consideração que normalmente são negligenciados, tais como as condições de exposição do preparo, as características da base de aplicação, as propriedades desejadas para aquela mistura, as condições e controle com a qual ela é misturada e também o custo. É preciso definir a dosagem racionalmente e testá-la no canteiro de obras (MACIEL; BARROS; SABBATINI, 1998). Porém existem alguns traços chaves que podem ser utilizados como base na dosagem, tais como os mostrados na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 - Sugestões de traços de argamassa

Emboço	Interno	1:1:6 cimento/ cal aditivada/ areia lavada média
		1 saco (20kg) de pré-mistura cimento/cal aditivada: 4 latas (18L) areia lavada média
		1 lata (18L) cimento: 1 saco (20kg) de filler calcário aditivado: 8 latas (18L) de areia lavada média a grossa
	Externo	1:1:6 cimento/ cal aditivada/ areia lavada média
		1 saco (20kg) de pré-mistura cimento/cal aditivada: 3 latas (18L) areia lavada média
		1 lata (18L) cimento: 1 saco (20kg) de filler calcário aditivado: 6 latas (18L) de areia lavada média a grossa
Reboco ou massa única	Interno	1:2:10 cimento/ cal aditivada/ areia lavada fina
		1 saco (20kg) de pré-mistura cimento/cal aditivada: 5 latas (18L) areia lavada fina
		1 lata (18L) cimento: 1 saco (20kg) de filler calcário aditivado: 10 latas (18L) de areia lavada fina
	Externo	1:2:8 cimento/ cal aditivada/ areia lavada fina
		1 saco (20kg) de pré-mistura cimento/cal aditivada: 4 latas (18L) areia lavada fina
		1 lata (18L) cimento: 1 saco (20kg) de filler calcário aditivado: 10 latas (18L) de areia lavada fina

Fonte:(CARVALHO JÚNIOR, 1999)

A argamassa de emboço consiste em uma camada de argamassa utilizada para regularização da base, seja para receber a argamassa de reboco ou um revestimento cerâmico, o reboco é a camada final de acabamento (LAPA, 2011).

5.2.1 Propriedades da argamassa

Para que a argamassa possa cumprir seu papel como revestimento é importante que ela apresente um conjunto de propriedades específicas, que são as propriedades no estado fresco (massa específica e teor de ar incorporado, trabalhabilidade, retenção de água, aderência inicial e retração na secagem) e as propriedades no estado endurecido (aderência, capacidade de absorver deformações, resistência mecânica, permeabilidade e durabilidade). Entender essas propriedades e como elas são influenciadas permite prever o comportamento da argamassa (MACIEL; BARROS; SABBATINI, 1998).

5.2.1.1 Massa específica e teor de ar incorporado

A massa específica é a relação entre a massa do material e seu volume, é uma propriedade do estado fresco da argamassa, ela pode ser absoluta, quando não considera os vazios existentes ou aparente quando é considerado os vazios impermeáveis. O teor de ar é a quantidade de vazios existentes em um certo volume de massa, esses vazios podem ser devido ao ar incorporado ou os espaços vazios resultantes da evaporação do excesso de água. A massa específica e o teor de ar incorporado podem influenciar na trabalhabilidade, que é melhorada com uma menor massa específica e maior teor de ar incorporado (NASCIMENTO, 2008), inclusive existem aditivos incorporadores de ar que melhoram a trabalhabilidade da argamassa sem que ela perca sua resistência mecânica e aderência, que pode ocorrer caso o teor de ar incorporado for excessivo (CARVALHO JÚNIOR, 1999).

5.2.1.2 Trabalhabilidade

A trabalhabilidade é a propriedade do estado fresco da argamassa e mede o quão uma argamassa é fácil de ser manuseada, ela não pode ser muito fluida, deve-se manter coesa ao ser transportada, porém não adere à colher de pedreiro ao ser lançada, ela deve-se distribuir rapidamente e deve preencher todas as reentrâncias da base, além de não endurecer rapidamente quando aplicada (NASCIMENTO, 2008). A trabalhabilidade pode ser associada a plasticidade, retenção e exsudação de água, coesão interna, tixotropia, adesão e massa específica, porém todas essas propriedades são de difícil mensuração, e a consistência e a plasticidade são apontadas como as principais influências na trabalhabilidade (LAPA, 2011).

O agregado tem influência na trabalhabilidade da argamassa, grãos angulosos de agregado conferem uma menor trabalhabilidade a massa, necessitando uma maior quantidade de água a ser adicionada na mistura, prejudicando a sua resistência mecânica (CARASEK *et al.*, 2016). Porém a trabalhabilidade é influenciada positivamente quando o modulo de finura do agregado é decrescido e a curva granulométrica é contínua (NASCIMENTO, 2008).

5.2.1.3 Retenção de água

A retenção de água é uma propriedade do estado fresco da argamassa, essa propriedade diz respeito a capacidade da argamassa de reter a água do amassamento, não a perdendo para a sucção da base ou para evaporação, mantendo

assim a trabalhabilidade da massa e auxiliando no endurecimento da argamassa, promovendo a adequada hidratação do cimento e conseqüentemente ganho de resistência (MACIEL; BARROS; SABBATINI, 1998; NASCIMENTO, 2008).

Essa propriedade é muito influenciada pela cal na argamassa, e para que a retenção de água seja melhorada é possível a utilização de aditivos que impendem a percolação de água capilar, como os aditivos incorporadores de ar (NASCIMENTO, 2008).

5.2.1.4 Aderência inicial

A aderência inicial é a propriedade relacionada ao fenômeno mecânico que ocorre em superfícies porosas, pela ancoragem da argamassa na base, por meio da penetração da pasta nos poros, reentrância e saliências, seguindo do endurecimento progressivo da pasta (LAPA, 2011; MACIEL; BARROS; SABBATINI, 1998; NASCIMENTO, 2008).

Para que a aderência inicial da argamassa com a base seja satisfatória é importante que a trabalhabilidade e retenção de água da massa sejam adequadas a sucção da base e as condições de exposição da massa e para promover um maior contato entre argamassa e base é necessária sua compressão após a aplicação (MACIEL; BARROS; SABBATINI, 1998; NASCIMENTO, 2008). Importante ressaltar que para garantir uma boa aderência inicial a base deve estar livre de impurezas, tais como materiais pulverulentos, fungos, substâncias gordurosas, desmoldantes (se for o caso), e antes de qualquer limpeza com produtos químicos a base deve ser saturada com água e após ela deve ser novamente limpa com água em abundância (CARVALHO JÚNIOR, 2005).

5.2.1.5 Retração na secagem

A retração na secagem ocorre em função da evaporação da água de amassamento das argamassas, das reações de hidratação e carbonatação dos aglomerantes. A retração pode causar microfissuras não prejudiciais na argamassa, porém essas podem evoluir para fissuras que permitem a percolação de água no estado endurecido da argamassa, comprometendo assim a estanqueidade do revestimento (LAPA, 2011; MACIEL; BARROS; SABBATINI, 1998; NASCIMENTO, 2008).

Existem três fatores que influenciam na retração na secagem, o primeiro deles é as características e as proporções dos materiais da argamassa, argamassas com

alto teor de cimento perdem água mais rapidamente, gerando assim mais fissuras ou trincas prejudiciais. O segundo fator é o intervalo de aplicação das camadas do revestimento, camadas com espessura maior do que 25mm são mais sujeitas a fissuras causadas por retração na secagem, então é recomendado que quando ocorra a aplicação em mais de uma camada seja esperado um tempo de no mínimo 7 dias entre as aplicações. O terceiro fator é o respeito ao tempo de sarrafeamento e desempenho, essa operação não pode ser feita com a argamassa muito úmida, para não gerar fissuras e até mesmo deslocamento da massa, então é recomendado esperar que a argamassa perca um pouco de sua água antes de iniciar essa operação (CARVALHO JÚNIOR, 1999; LAPA, 2011; MACIEL; BARROS; SABBATINI, 1998; NASCIMENTO, 2008).

5.2.1.6 Aderência

A aderência é a propriedade do estado endurecido da argamassa, ela consiste na capacidade que o revestimento tem de manter-se fixo ao substrato, por meio das resistências às tensões normais e tangenciais que surgem na interface base/argamassa. Essa propriedade é resultante da resistência de aderência as trações, ao cisalhamento e da extensão de aderência da argamassa (CARVALHO JÚNIOR, 2005; LAPA, 2011; MACIEL; BARROS; SABBATINI, 1998; NASCIMENTO, 2008).

A aderência é muito influenciada pelas condições da base de aplicação, como a porosidade e absorção de água, resistência mecânica, textura superficial, pelas condições de assentamento dos elementos da base (a superfície de contato efetivo entre argamassa/base exige um assentamento homogêneo, sem excessivas descontinuidades entre as juntas dos elementos (NASCIMENTO, 2008)), e também pela capacidade de retenção de água da argamassa, consistência e o teor de ar incorporado (CARVALHO JÚNIOR, 2005)

5.2.1.7 Capacidade de absorver deformações

A capacidade de absorver deformações é uma propriedade do estado endurecido da argamassa, ela pode ser chamada também de elasticidade, essa propriedade diz respeito a capacidade do revestimento de suportar tensões, sofrendo deformações, porém sem a ruptura ou fissuras prejudiciais (LAPA, 2011; MACIEL; BARROS; SABBATINI, 1998; NASCIMENTO, 2008). Fissuras são prejudiciais

aquelas permitem a percolação de água, comprometendo a aderência, estanqueidade do revestimento, acabamento e a durabilidade (NASCIMENTO, 2008).

O revestimento precisa somente absorver deformações de pequena amplitude, tais como as ações da umidade e temperatura. Não é esperado que o revestimento suporte deformações de grande amplitude, como recalques estruturais (LAPA, 2011; MACIEL; BARROS; SABBATINI, 1998; NASCIMENTO, 2008).

Existem quatro fatores principais que influenciam na elasticidade do revestimento, são eles: módulo de deformação da argamassa, espessura das camadas, as juntas de trabalho e a técnica de execução do revestimento (LAPA, 2011; MACIEL; BARROS; SABBATINI, 1998; NASCIMENTO, 2008).

5.2.1.8 Resistência mecânica

A resistência mecânica é uma propriedade do estado endurecido e diz respeito a capacidade da argamassa de revestimento de resistir a tensões de tração, compressão e cisalhamento que podem acontecer devido a esforços estáticos ou dinâmicos decorrente do uso da edificação ou por solicitações de fenômenos climáticos, isso depende da condição de exposição do revestimento. Essa propriedade é influenciada basicamente pela natureza do aglomerante (cal ou cimento), natureza do agregado, proporções de aglomerante/agregado, relação água/cimento e a maneira como o revestimento foi executado (CARVALHO JÚNIOR, 2005; NASCIMENTO, 2008).

5.2.1.9 Permeabilidade

O revestimento é poroso, então existe a percolação de água nele tanto no estado líquido quanto vapor, a permeabilidade, que é uma propriedade do estado endurecido da argamassa, está relacionada justamente a passagem de água por meio de infiltração sob pressão, capilaridade ou difusão de vapor de água pela argamassa de revestimento. O revestimento deve ser estanque à água, porém é recomendado que ele seja parcialmente permeável ao vapor de água, porque assim o endurecimento e secagem da argamassa são favorecidos. Quando existe uma fissura no revestimento a estanqueidade é comprometida, porque a infiltração da água vai até a base, assim a função de proteção que o revestimento dá a base de aplicação é comprometida. A permeabilidade é principalmente influenciada pela natureza da base, pela composição e dosagem da argamassa, técnica de execução do revestimento, espessura da

camada e o acabamento final (LAPA, 2011; MACIEL; BARROS; SABBATINI, 1998; NASCIMENTO, 2008).

5.2.1.10 Durabilidade

A durabilidade pode ser definida com a capacidade da argamassa de revestimento de manter o seu desempenho satisfatório ao longo do tempo e sob o efeito de ações externas, essa é uma propriedade do estado endurecido (CARVALHO JÚNIOR, 1999; MACIEL; BARROS; SABBATINI, 1998).

Essa propriedade é difícil de ser medida, e depende de vários fatores que vão desde a etapa de especificação do revestimento, até as técnicas executivas e sua manutenção, a durabilidade depende também das condições de exposição e do projeto da edificação que o revestimento será aplicado (CARVALHO JÚNIOR, 1999).

5.3 Agregados

Agregados são aqueles materiais que são acrescentados ao cimento e água resultando na obtenção de argamassa e concreto, ele se apresenta em forma de grão e devem ser inertes. O agregado representa 70% do total de volume dos produtos da massa, portanto apresenta um importante papel no custo total de argamassas e concretos (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2006).

5.3.1 Agregados Reciclados

O agregado reciclado proveniente de RCD já está sendo muito estudado para confecção de concretos sem função estrutural e argamassas (FERREIRA *et al.*, 2019) e até mesmo disponibilizado para utilização em alguns centros urbanos no Brasil, como no caso de Belo Horizonte, referência em gestão de resíduos no Brasil (BESSA *et al.*, 2019). Porém é necessária uma divulgação de aspectos técnicos detalhados para que as propriedades do agregado reciclado sejam entendidas e possam ser exploradas, já que este é um dos motivos da atual barreira de utilização de agregados reciclados em obras (FRASSON; PASCHOALIN, 2017).

No momento de coleta do RCD ele é composto de diferentes materiais, alguns recicláveis e outros não, então para que seja viabilizado um agregado reciclado com propriedades satisfatórias se faz necessária um tratamento dos resíduos que inclui várias etapas (ANGULO, 2005).

5.3.2 Reciclagem do Agregado

O processo se inicia com a separação inicial da fração reciclável da não reciclável do resíduo, esse processo inicia-se na obra, porém nem todos os resíduos podem ser separados no canteiro, então é necessário que eles sejam encaminhados para uma estação de triagem (CASTRO, 2010). Em Belo Horizonte, desde 1995 existe o Plano de Reciclagem de Resíduos da Construção Civil, e atualmente a cidade possui três estações de reciclagem de entulhos, com duas em funcionamento atual, duas estações de tratamento e trinta e cinco unidades de recebimentos de pequenos volumes, os resíduos da construção civil, quando descartados de forma correta, vão para as estações supracitadas (BESSA *et al.*, 2019).

Após a separação, algumas vezes os resíduos precisam passar pelo processo de britagem e posteriormente crivagem, onde o material considerado grande tem suas dimensões reduzidas (CASTRO, 2010), para que sua utilização e seu transporte sejam facilitados (ANGULO, 2005). A reciclagem em Belo Horizonte é feita em quatro etapas, a primeira é o controle do material recebido na portaria, a segunda é a separação do RCD do material que será destinado aos aterros, na terceira etapa existe a triagem dos RCD entre as classificações A e B¹ e por fim, existe a britagem, para geração de brita de diferentes granulometrias e areia (BESSA *et al.*, 2019).

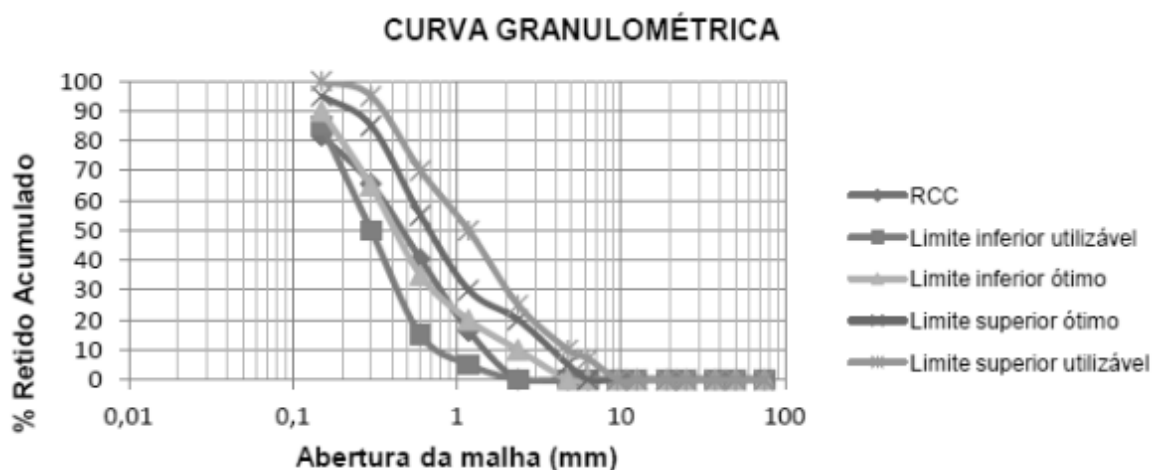
5.3.3 Análise Técnica do Agregado Reciclado

Alguns aspectos técnicos devem ser analisados no agregado reciclado para determinar suas propriedades e sua viabilidade, entre eles está a granulometria, a absorção de água e teor de materiais pulverulentos (BARROS; FUCALE, 2016).

De acordo com os testes citados anteriormente, a curva granulométrica do agregado reciclado, quando reciclado de maneira correta, se apresenta dentro das normas brasileiras, como mostrado na Figura 1 (BARROS; FUCALE, 2016).

¹ De acordo com a Resolução CONAMA nº307/2002, resíduos de classe A são os que podem ser reutilizados com agregados e os de classe B são os resíduos recicláveis destinados a outras aplicações, como o plástico, vidro, metais e papel, por exemplo (BRASIL, 2002).

Figura 1 - Curva granulométrica do agregado reciclado



Fonte: (BARROS; FUCALE, 2016)

A absorção de água é um ponto importante a se estudar no agregado reciclado (BARROS; FUCALE, 2016), visto que sua capacidade de absorção de água é maior quando comparado com o agregado natural (GONZÁLEZ-FONTEBOA *et al.*, 2012) agregado reciclado secos se comportam como esponjas em concreto fresco e isso impacta na relação água/cimento da massa, essa relação influencia a durabilidade e a resistência do concreto ao longo do tempo (JOSEPH *et al.*, 2015). E quando testado o agregado reciclado apresenta uma absorção de água significativamente maior do que o agregado natural, enquanto o agregado natural apresenta uma absorção em torno de 0,2% o agregado reciclado apresenta resultados de 10% quando submerso por 24h (BARROS; FUCALE, 2016). Existem outras pesquisas que apresentam resultados diferentes, porém sempre o agregado reciclado tem uma absorção de água muito maior do que o agregado natural, devido a superfície de seus grãos serem mais irregulares (LEDESMA *et al.*, 2014; RAINI *et al.*, 2020).

O teor de materiais pulverulentos do agregado reciclado está dentro das normas brasileiras, porém não atende as normas para concreto com função estrutural (BARROS; FUCALE, 2016). Importante ressaltar que quando comparado com o agregado natural, o agregado reciclado apresenta maior quantidade de materiais pulverulentos, esse aumento pode influenciar na propriedade de densidade aparente seca da argamassa (LEDESMA *et al.*, 2014).

5.3.4 Aplicações do Agregado Reciclado

O agregado reciclado pode substituir parcialmente ou totalmente o agregado natural para aplicações em concretos e argamassas sem função estrutural desde que atendam os requisitos propostos na NBR 15.116:2004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA

DE NORMAS TÉCNICAS, 2004) os requisitos gerais estão especificados na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2 - Requisitos para agregado reciclado destinado ao preparo de concreto sem função estrutural (adaptado)

Propriedades	Agregado reciclado Classe A			
	ARC		ARM	
	Graúdo	Miúdo	Graúdo	Miúdo
Teor de fragmentos a base de cimento e rochas (%)	≥ 90	-	> 90	-
Absorção de água (%)	≤ 7	≤ 12	≤ 12	≤ 17
Contaminantes - teores máximos em relação a massa do agregado reciclado (%)	1			
	1			
	2			
	2			
	3			
Teor de material passante na malha de 75 μm (%)	10%	15%	10%	20%

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004)

Em geral, o concreto misturado com o agregado reciclado é muito parecido com o misturado com agregado natural, a maior diferença está na alta absorção de água do agregado reciclado que influencia na quantidade de água que a mistura precisa (RAO; JHA; MISRA, 2007). O maior problema da alta absorção de água do agregado reciclado é o decréscimo da trabalhabilidade do concreto quando a relação água/cimento não é modificada, quando ela é aumentada há um prejuízo em propriedade mecânicas, porém esse problema pode ser resolvido com aditivos plastificante, os quais melhoram a trabalhabilidade (JOSEPH *et al.*, 2015).

Estudos já mostram que argamassas feitas com até 40% de agregados reciclados podem melhorar suas propriedades de compressão e flexão (LEDESMA *et al.*, 2014), concretos feitos com adições de materiais cerâmicos provenientes de louças em substituição do agregado natural tem propriedade mecânicas satisfatórias, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido (ALMEIDA *et al.*, 2019), e mesmo concretos estruturais, como é o caso do graute, já apresentam resultados satisfatórios quando produzidos com até 25% de agregado reciclado (EHRENBRING *et al.*, 2020). Então é possível afirmar que o uso do agregado reciclado já é um caminho a ser seguido para diminuição de descarte indevido e de geração de RCD (BARROS; FUCALE, 2016).

5.4 Orçamento de obra

O mercado cada vez é mais exigente, e um orçamento correto e condizente com a realidade traz competitividade para o empreendimento (DIAS, 2011). Independente do objetivo de cada obra, um empreendimento é uma atividade econômica, assim o custo é um aspecto importante a se analisar, logo fase de orçamentação é importante para que a viabilidade econômica de uma obra seja verificada (MATTOS, 2006).

O orçamento além de auxiliar na análise de viabilidade econômica da obra ele também é um elemento de tomada de decisão quando associado a outras ferramentas e ao cronograma físico-financeiro, podendo ser utilizado para detectar prováveis falhas que podem ocorrer na fase de execução de uma obra (COELHO, 2015). É importante ressaltar que o orçamento diz respeito a soma dos custos diretos, indiretos e do lucro previsto, já a estimativa de custos é um cálculo expedido para a avaliação de um serviço, então ele pode seguir índices conhecidos no mercado e não deve ser utilizado para propostas comerciais (DIAS, 2011).

O orçamento deve ser feito com base nas dimensões fornecidas em projeto que deve ser bem detalhado para que erros sejam evitados (COELHO, 2015), com os projetos da obra executados então é necessário não somente saber quais serviços serão executados, mas também o quanto de cada um deve ser feito, essa etapa consiste no levantamento quantitativo do projeto (MATTOS, 2006). E não se pode fugir da usual composição de custos unitários e cotação de insumos, etapas fundamentais para orçamentação (COELHO, 2015).

O primeiro passo para a realização de um orçamento é estar munido de todos os projetos e informações relevantes ao empreendimento, uma visita técnica ao local é importante para que o orçamentista tenha acesso aos detalhes de locação do canteiro de obras e da obra. A segunda etapa é o início da organização dos dados, é nessa etapa que é definida a estratégia de execução dos serviços e o cronograma físico da obra (DIAS, 2011). Na terceira etapa é feito o levantamento de quantidades e preços, nessa etapa é detalhado os insumos a serem utilizados, serviços a serem executados e ferramentas necessárias, e suas respectivas quantidades, é nessa etapa que é feita a composição de custo unitário tanto os que influenciam diretamente no empreendimento quanto os que influenciam indiretamente, também na terceira

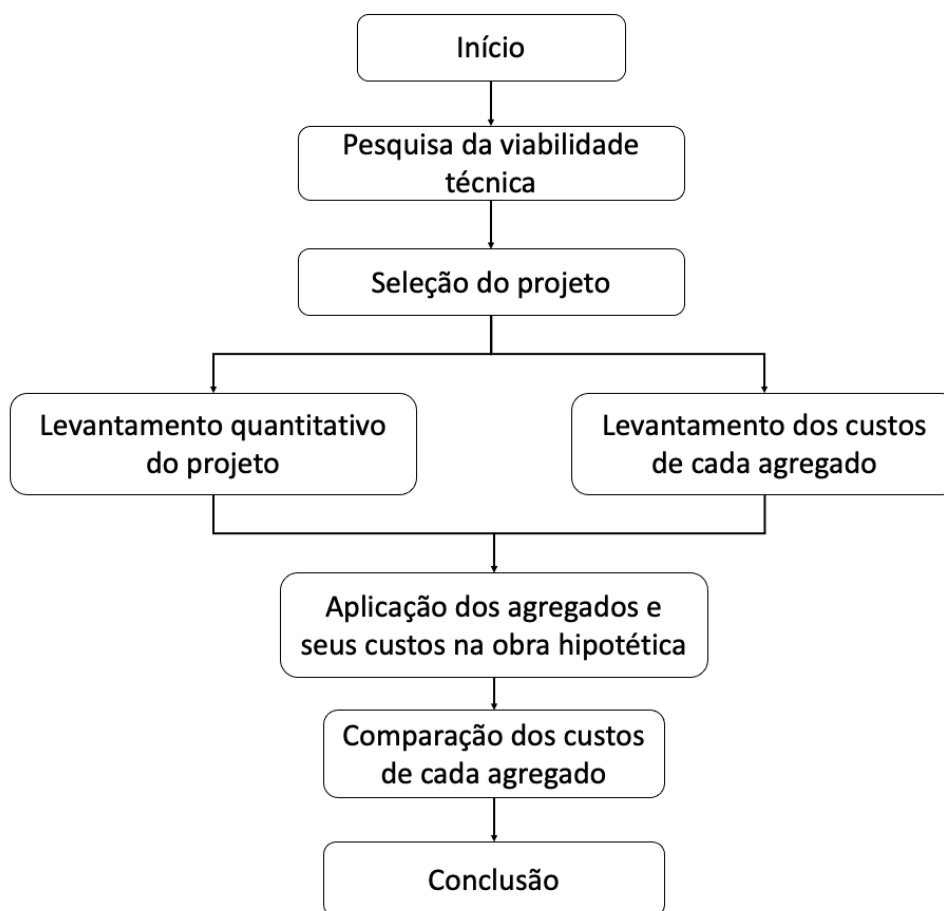
etapa é feita a pesquisa de preço e condições de fornecimento e por fim é feito alguns ajustes e o cálculo do orçamento (COELHO, 2015; DIAS, 2011).

6 METODOLOGIA

O presente trabalho segue a metodologia do fluxograma apresentado na Figura 2 a seguir e se deu início pela pesquisa da viabilidade técnica da utilização do agregado reciclado para emboço do revestimento de parede interna, essa pesquisa foi feita em fontes científicas e pode ser observada no capítulo anterior.

Em seguida foi feita uma seleção de um empreendimento de domínio público que pudesse ser analisado no trabalho, foi então escolhida uma casa de um pavimento do modelo casa verde amarela do programa de habitação popular do Brasil, por ser um empreendimento de amplo uso e que abrange uma grande parte da população brasileira, com esse projeto em mãos foi calculado a quantidade de emboço que deveria ser usado para o revestimento de todas as paredes internas da obra, com esses dados em mãos, foi então analisado o custo da argamassa quando fabricada com agregado de origem natural e quando fabricada com agregado reciclado, e por fim foi então analisado a viabilidade econômica da utilização de cada um dos agregados.

Figura 2 - Fluxograma do desenvolvimento da pesquisa



6.1 Pesquisa da viabilidade técnica

O trabalho se iniciou com uma extensa pesquisa da viabilidade técnica do agregado, foi preciso demonstrar por meio de pesquisas já elaboradas que o agregado reciclado é viável tecnicamente quando comparado com o agregado natural. A areia possui grande influência no comportamento da argamassa e qualquer alteração em sua umidade ou formato pode modificar as propriedades desejadas de uma argamassa.

A areia reciclada já é utilizada, porém não amplamente, ainda existe certa resistência das construtoras e falta de conhecimento dos estudos feitos com ela, então a substituição da areia dentro do canteiro de obras apresenta certa resistência.

Na revisão bibliográfica foi possível observar como a areia reciclada já foi utilizada na prática em obras e como o processo de obtenção da areia reciclada é um processo controlado, e mesmo quando é um processo de reciclagem na própria obra ela ainda é viável tecnicamente. Já foram feitos extensos estudos sobre a aplicação da areia reciclada em argamassa e concretos sem função estrutural, tanto que sua

aplicação já é regulamentada no Brasil, então, é possível afirmar que a areia reciclada, quando obtida por um processo de reciclagem minimamente controlado é viável tecnicamente para substituir a areia natural.

6.2 Seleção do projeto

O projeto foi selecionado levando em conta os direitos autorais do elaborador do projeto, então foi pesquisado um projeto de domínio público, utilizado já para a elaboração de casas do programa Casa Verde e Amarela do governo brasileiro. A preferência por esse tipo de projeto veio por conta de sua acessibilidade, por ser de domínio público ele é fácil de ser encontrado e aplicado, além de se um projeto pequeno que pode ser aplicado tanto por grandes construtoras com sua replicação em um conjunto habitacional, quanto por construtores autônomos. O projeto foi obtido pela Caixa Econômica Federal, órgão responsável pela validação do financiamento do programa Casa Verde e Amarela e foi escolhido levando em conta o projeto que tinha mais informações disponíveis. O projeto foi analisado hipoteticamente e a sua implantação foi selecionada de acordo com a disponibilidade de informações que a autora possuía.

6.2.1 Levantamento Quantitativo do Projeto

O levantamento quantitativo foi feito com base no projeto disponibilizado e somente foi estimado os insumos das etapas construtivas selecionadas, o emboço. Com o projeto foi determinado quantos metros quadrados de parede interna precisa de aplicação do emboço. O memorial descritivo foi necessário para determinação da espessura do emboço e para a definição do pé direito interno da casa. Como a análise é da elaboração da argamassa na obra, foi definido o melhor traço para o emboço e então foi detalhado quanto de areia seria necessária para o amassamento da argamassa na obra.

Após o levantamento das áreas que foram executadas foi necessário o levantamento de qual o volume de argamassa deve ser utilizado, para a fabricação e o transporte serem detalhados. Assim, pela composição de índices de consumo da tabela SINAPI (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2018) foi levantado quanto de argamassa é necessário para executar todo o emboço da obra.

6.2.2 Levantamento dos Custos de Cada Agregado

Paralelo ao levantamento quantitativo do projeto foi feito o levantamento de custos de cada agregado escolhido, o primeiro agregado analisado foi o natural, que é o mais comumente utilizado, ele é aceito totalmente pelas normas e o que foi amplamente testado ao longo dos anos, foi analisado seu custo por metro cúbico e o custo do seu transporte até a obra. O outro agregado analisado foi o agregado reciclado, foi desenvolvido um levantamento quanto a sua disponibilidade para a obra hipotética, seu custo na região que a obra seria hipoteticamente implementada e o seu custo de transporte.

As informações foram obtidas por meio de disponibilidade de informações, os custos do agregado natural e seu transporte até a implantação foram obtidos por pesquisas na internet de mais de uma vendedora do produto e então foi feita a média dos preços encontrados. Já o custo do agregado reciclado é obtido pela prefeitura de Belo Horizonte, que é o principal fornecedor desse tipo de agregado na cidade que a obra foi implantada e o custo do transporte foi obtido por contato na internet com empresas especializadas no transporte de materiais de construção.

6.3 Aplicação dos agregados e seus custos

Com todas as informações coletadas e organizadas a aplicação dos custos do agregado na obra foram iniciados.

Foi analisado qual o custo por metro cúbico do agregado natural e do agregado reciclado levando em consideração se a aplicação do agregado reciclado seria necessária a incorporação de aditivos ou adições na argamassa, mudando o custo para a implantação do agregado na obra, e então o custo do potencial aditivo/adição foi pesquisado nos revendedores, e seu custo foi então aplicado ao custo da do emboço com o agregado reciclado.

6.4 Comparação dos custos

Por fim, os custos de cada agregado foram analisados e comparados, levando em consideração os custos com transporte, aditivos e adições e do próprio agregado, levando a conclusão se o agregado é viável economicamente ou não.

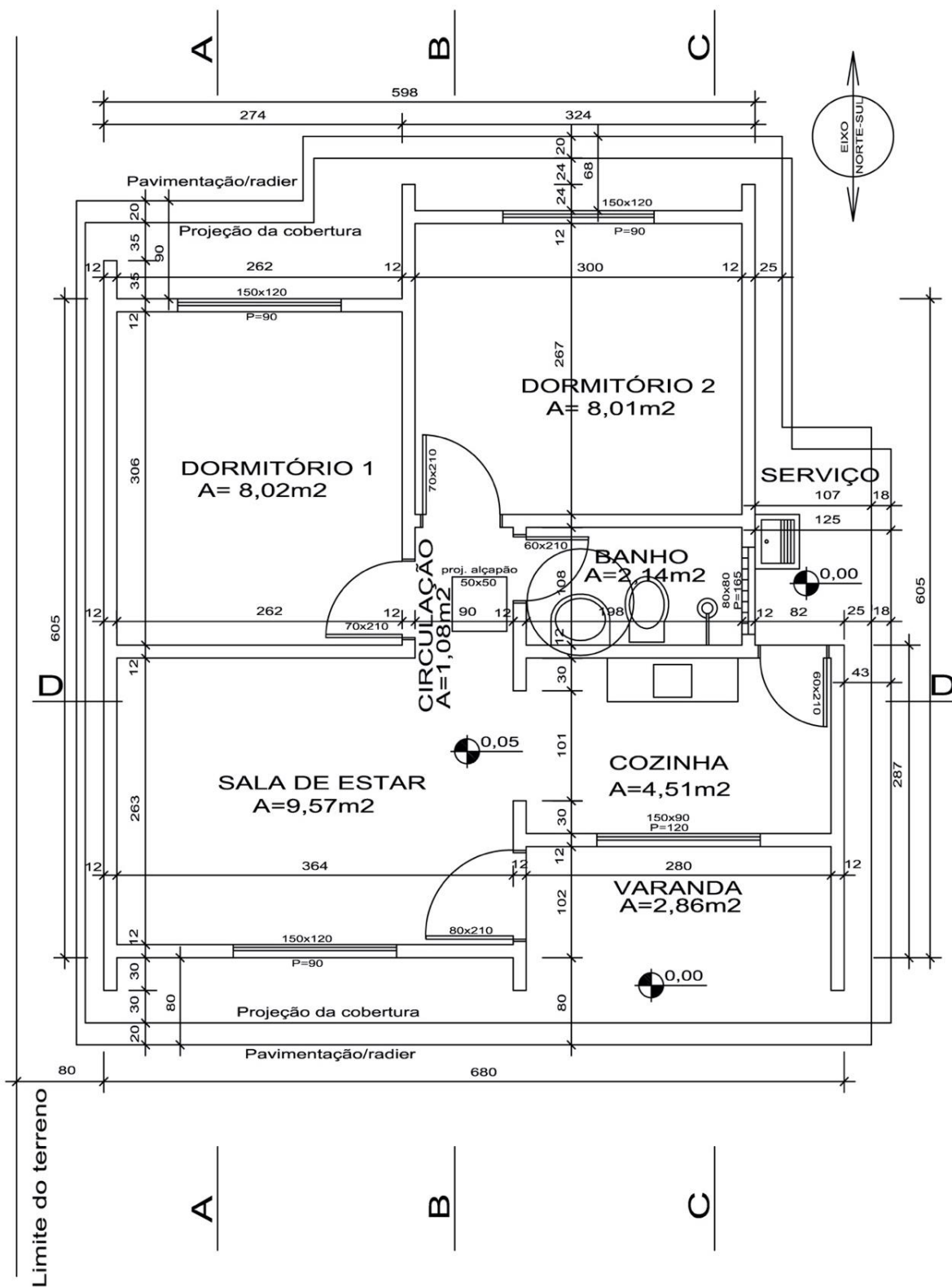
7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo será apresentado os resultados obtidos da pesquisa.

7.1 Seleção do projeto

Para se dar início o estudo de levantamento quantitativo e comparação da utilização de areia natural com a areia reciclada, foi escolhido um projeto de domínio público, como descrito anteriormente na metodologia. Foi selecionado o projeto que apresentava a maior quantidade de informações disponíveis, foi necessário a planta do projeto, apresentada na Figura 3, bem como cortes e memorial descritivo, para acessar todas as informações necessárias para análise. Foi definido que seria o emboço interno a ser analisado tendo em vista a sua maior aplicabilidade e por sofrer menos ações de agentes externos. Foi definido que o projeto seria implantado hipoteticamente na região da Pampulha, próximo ao bairro São Francisco na cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais, tendo em vista a disponibilidade de acesso as informações da região pela autora.

Figura 3 - Planta da casa selecionada



PLANTA

CASA 2 DORMITÓRIOS $A = 41,16\text{m}^2$

Fonte: (BRASIL, 2017)

7.1.1 Levantamento Quantitativo do Projeto

Para o projeto em questão foi analisado quanto de volume é necessário para a confecção de todo o emboço interno da casa. Para isso foi utilizada as medidas de parede e pé direito fornecidos pelos projetos e de acordo com o memorial descritivo a espessura do emboço interno é 1,5cm, porém como na base de dados do SINAPI somente tem a espessura de 2cm, foi adotado essa medida para o emboço interno. Com esses valores obtidos foi calculado que a área de recebimento de emboço interno é de 117,782m² como apresentado na Tabela 3 por ambiente a seguir.

Tabela 3 - Levantamento quantitativo por ambiente do projeto

Ambientes	Perímetro Interno (m)	Área (m²)	Descontos – Janelas, portas e vãos (m²)	Total Interno (m²)
Circulação	3,3	8,91	4,2	4,71
Dormitório 1	11,36	30,672	3,27	27,402
Dormitório 2	11,34	30,618	3,27	27,348
Sala de Estar	11,64	31,428	6,207	25,221
Banho	6,12	16,524	1,9	14,624
Cozinha	8,82	23,814	5,337	18,477
Total	52,58	141,966	24,184	117,782

Fonte: A autora

Com o valor de área a ser aplicado o emboço na casa, foi então pesquisado na base de dados do SINAPI o índice de consumo de argamassa em função da área a ser aplicada, foi encontrado então o índice número 87530, que apresenta “massa única, para recebimento de pintura, em argamassa traço 1:2:8, preparo manual, aplicada manualmente em faces internas de paredes, espessura de 20mm” com o coeficiente de consumo de argamassa de 0,0376 (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2021). A seguir é mostrada como foi calculado o volume de argamassa necessária de acordo com o índice de consumo SINAPI.

$$\text{Área de parede interna} \times \text{Índice SINAPI} = 117,782\text{m}^2 \times 0,0376 = 4,4286 \text{ m}^3$$

Então foi buscado o índice de consumo da matéria prima da argamassa obtida acima, o número do insumo buscado é 87369, e ele apresenta o coeficiente da areia média a ser utilizada de 1,14.

$$\text{Volume de argamassa} \times \text{Índice SINAPI} = 4,4286 \text{ m}^3 \times 1,14 = 5,049\text{m}^3$$

Então é necessário um total de 5,049m³ de areia média para a confecção de toda argamassa de emboço da obra.

7.1.2 Levantamento de Custo de Cada Agregado

Para o levantamento de custo de cada agregado foi buscado na tabela SINAPI um valor para o insumo de areia média natural. O insumo buscado tem número 370 e o seu custo unitário é de R\$ 66,67, esse valor é atribuído a composição número 87369 e é um valor referente a região de São Paulo. Com uma breve pesquisa de mercado feita com o contato com fornecedores de areia da região foi coletado os dados apresentados na Tabela 4 a seguir de preço de areia média.

Alguns valores não puderam ser apurados, visto que o fornecedor consultado não trabalha com o serviço, por exemplo, o fornecedor 2 ao ser consultado falou que não trabalha com a retirada da areia pelo cliente, somente com a entrega no local da obra. O valor levantado na tabela SINAPI é sem o transporte, visto que depende da localização da obra. O valor do frete obtido pelo fornecedor 2 é estimado com a implantação da obra no bairro São Francisco, na cidade de Belo Horizonte, como explicado na metodologia. Foi buscado também o valor da areia obtido pela superintendência de desenvolvimento da capital (SUDECAP) (PREFEITURA DE BELO HORIZONTE, 2021) de Belo Horizonte, esse valor obtido é também com o frete já incluído.

Tabela 4 - Levantamento de Preços

Levantamento de preços areia média natural	Valor sem frete (por m³)	Valor com frete (por m³)
SINAPI (Insumo 370)	R\$ 66,67	R\$ -
Fornecedor 1	R\$ -	R\$ 79,90
Fornecedor 2	R\$ 82,00	R\$ 98,00
SUDECAP	R\$ -	R\$ 80,00

Fonte: A autora

Assim, temos uma média do preço da areia média natural com o frete incluso de R\$ 85,97.

O levantamento de preço da areia reciclada foi feito com base na tabela fornecida pela prefeitura de Belo Horizonte no diário oficial da união datado de 26 de janeiro de 2016, já que essa é a principal fornecedora de areia reciclada de entulho de construção civil na região, os dados coletados encontram-se na Tabela 5 a seguir. É importante ressaltar que quando a Usina de reciclagem de entulhos foi contatada por meio de telefone foi fornecido a informação de que a areia reciclada não estava sendo fornecida e que as operações estavam reduzidas, devido ao cenário de pandemia, no qual a pesquisa foi elaborada.

Tabela 5 - Tabela de Preços Areia Reciclada

Reciclados (subprodutos para venda)		
Material britado categoria "A" - Entulho selecionado	Unidade	Valor
Material britado e peneirado ("brita 0"; "brita 1" e finos)	m3	R\$ 73,39
Material britado categoria "B" - Entulho misto	Unidade	Valor
Material britado e peneirado ("brita 0"; "brita 1" e finos)	m3	R\$ 73,39

Fonte: (PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE, 2016)

O valor obtido do m³ de areia reciclada em Belo Horizonte é sem o frete, este é de responsabilidade do cliente e a usina não fornece nenhum tipo de parceiro, então, o transporte do local de coleta até o local hipotético da obra também foi analisado, e os resultados dos valores dos transportes estão resumidos na Tabela 6.

Tabela 6 - Valores Obtidos para o Transporte

Levantamento frete	Valor	Valor por m³
Fornecedor 1	R\$ 430,00	R\$ 85,16
Fornecedor 2	R\$ 600,00	R\$ 118,84
Fornecedor 3	R\$ 600,00	R\$ 24,00

Fonte: A autora

O valor do frete foi obtido através de contato telefônico com vários potenciais fornecedores do serviço. O fornecedor um e dois possuía restrições quanto a carga, a areia deveria ser ensacada e no local deveria ter um ajudante para o carregamento, além de que o veículo possuía uma capacidade limitada de transporte, sendo necessária mais de uma viagem, totalizando o valor de R\$ 430,00 para o fornecedor um, com duas viagens e o ajudante dele e R\$ 600,00 com o fornecedor dois também com duas viagens e o ajudante dele. O fornecedor três possuía um veículo muito maior do que o necessário, totalizando 25m³ de areia a serem transportados, e para transportar essa quantidade o valor obtido foi de R\$ 600,00, assim o valor do frete por m³ foi adaptado a cada situação, sendo resumido na Tabela 6 supracitada. Sendo assim a média do frete para o transporte da areia reciclada até a locação da obra é de R\$ 76,00.

7.2 Aplicação dos custos

Com o levantamento dos valores dos custos para aquisição e transporte do m³ de cada a agregado, areia reciclada e areia natural, a seguir é apresentando a Tabela 7 resumo dos valores obtidos e aplicados no custo da obra para aquisição da matéria prima necessária para a confecção do emboço das paredes.

Tabela 7 - Resumo dos Valores de cada Agregado

Descrição	Quantidade (m ³)	Preço por m ³ com transporte	Total
Areia Natural	5,049	R\$ 85,97	R\$ 434,06
Areia Reciclada	5,049	R\$ 149,39	R\$ 754,27

Fonte: A autora

O preço da areia reciclada foi obtido pelo somatório do valor do m³ de areia obtido no diário oficial de Belo Horizonte e a média do valor do transporte da usina 040 até a locação hipotética da obra.

7.3 Comparação dos agregados

Com base nos valores obtidos nessa pesquisa é possível observar que o custo do agregado reciclado é muito maior do que o do agregado natural, sendo 73% mais oneroso. Esse custo mais alto acontece devido ao transporte da matéria prima, que é difícil de ser viabilizado e muito caro em vista da quantidade de material necessária. O custo do transporte por m³ de areia reciclada da usina fornecedora até a locação hipotética da obra é maior do que o próprio custo do material, tornando sua utilização inviável economicamente por causa de problemas logísticos.

8 CONCLUSÃO

A indústria da construção civil no Brasil ainda é conservadora em muitos quesitos e um deles é a parte logística. Para a realização do trabalho a maior dificuldade encontrada foi localizar fornecedores de transporte para matérias primas de construção civil.

O agregado reciclado e a areia natural foram aplicados hipoteticamente na obra descrita e o custo foi analisado tanto para uso da areia reciclada quanto para o uso de areia natural em uma obra de pequeno porte. Como resultados tem-se que pelo ponto de vista econômico da compra e transporte, a utilização de areia reciclada não é viável. O custo do transporte inviabilizou a utilização da areia reciclada para a obra analisada. Com as informações dos fornecedores analisados, o custo do deslocamento da areia é maior do que o próprio custo da areia por m³. Porém tendo em vista que a areia reciclada pode ser obtida por meio da moagem dos próprios entulhos da obra ela ainda é tecnicamente viável.

A pesquisa encontrou obstáculos no momento do cálculo logístico do deslocamento da areia reciclada, tendo dificuldades de encontrar fornecedores qualificados, devido a problemas circunstanciais em que a autora estava inserida. A dificuldade encontrada mostra que a construção civil no Brasil ainda é restrita a nichos

específicos, e ainda se mostra resistente a novas tecnologias a serem implantadas, como a utilização de areia reciclada para as obras.

BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (São Paulo). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2018/2019**. São Paulo: Abrelpe, 2019. 68 p. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/download-panorama-2018-2019/>. Acesso em: 25 out. 2020.

ALEXANDRIDOU, Christiana; ANGELOPOULOS, George N.; COUTELIERIS, Frank A.. Mechanical and durability performance of concrete produced with recycled aggregates from Greek construction and demolition waste plants. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 176, p. 745-757, mar. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.081>.

ALMEIDA, Diego Henrique de; GRILLO, Rodolfo Henrique Freitas; MAESTRELLI, Sylma Carvalho; ROVERI, Carolina del. Properties of concrete manufactured with use of ceramic sanitary ware waste as aggregate. **Matéria (Rio de Janeiro)**, [S.L.], v. 24, n. 2, p. 01-10, jan. 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620190002.0665>.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS ENTIDADES DE PRODUTORES DE AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO (São Paulo). **Mercado**: perspectivas para o setor de agregados. 2014. Disponível em: <https://www.anepac.org.br/agregados/mercado>. Acesso em: 25 out. 2020.

ANGULO, Sérgio Cirelli. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos**. 2005. 236 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15116**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos. 1 ed. Rio de Janeiro: [S.E.], 2004. 12 p.

BARROS, Emília Xavier do Rêgo; FUCALE, Stela. O uso de resíduos da construção civil como agregados na produção de concreto. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, [S.L.], v. 2, n. 1, p. 01-07, 8 nov. 2016.

BESSA, Sofia Araújo Lima; MELLO, Tiago Augusto Gonçalves; LOURENÇO, Karen Katleen. Análise quantitativa e qualitativa dos resíduos de construção e demolição gerados em Belo Horizonte/MG. **Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, [S.L.], v. 11, 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2175-3369.011.e20180099>.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002**. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Brasília: Diário Oficial da União, 2002. Disponível em:

https://cetesb.sp.gov.br/licenciamento/documentos/2002_Res_CONAMA_307.pdf .
Acesso em: 16 jan. 2021

BRASIL. **Projeto Completo de Casa Popular**. Disponível em:
<https://reformais.com.br/projeto-completo-de-casa-popular-4116m%c2%b2-2-quartos-para-download/>. Acesso em: 7 mar. 2021.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E.. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. **Cerâmica**, [S.L.], v. 61, n. 358, p. 178-189, jun. 2015. FapUNIFESP (SciELO).
<http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132015613581860>.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **SINAPI: Metodologias e Conceitos: Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil**. 8. ed. Brasília: Caixa, 2020. 79 p. Disponível em: https://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-manual-de-metodologias-e-conceitos/Livro1_SINAPI_Metodologias_e_Conceitos_8_Edicao.pdf. Acesso em: 30 out. 2020.

BRASIL. CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Downloads:**
SINAPI_ref_Insumos_Composicoes_MG_032021_NaoDesonerado. 2021.
Disponível em:
https://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_648. Acesso em: 7 mar. 2021.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (Brasil). **Banco de Dados CBIC**: sala de imprensa. Sala de Imprensa. 2020. Disponível em:
<http://www.cbicdados.com.br/menu/sala-de-imprensa/sala-de-imprensa>. Acesso em: 12 jan. 2021.

COUTINHO, A. S. **Fabrico e Propriedades do Betão**. Vol. I. ed. LNEC. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil. 1997. 610 p.

CARASEK, Helena; ARAÚJO, Renato Costa; CASCUDO, Oswaldo; ANGELIM, Renato. Parâmetros da areia que influenciam a consistência e a densidade de massa das argamassas de revestimento. **Matéria (Rio de Janeiro)**, [S.L.], v. 21, n. 3, p. 714-732, set. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620160003.0068>.

CARVALHO JÚNIOR, A. N. DE. **Técnicas de Revestimento: Apostila do Curso de Especialização em Construção Civil**. 1. ed. Belo Horizonte: DEMC - EE. UFMG, 1999.

CARVALHO JÚNIOR, Antônio Neves de. **Avaliação da aderência dos revestimentos argamassados: uma contribuição à identificação do sistema de aderência mecânico**. 2005. 331 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Metalúrgica e de Minas, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

CASTRO, Wesley Pinheiro de. **Separação, Reutilização e Reciclagem de Resíduos da Demolição de Edifícios**. 2010. 142 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2010.

COÊLHO, Ronaldo Sérgio de Araújo. **Orçamento de obras na construção civil**. 1. Ed. São Luís: Edição do Autor, 2005. 354 p.

DIAS, Paulo Roberto Vilela. **Engenharia de custos: uma metodologia de orçamentação para obras civis**. 9. ed. Rio de Janeiro: Copiare 2011.

EHRENBRING, Hinoel Zamis *et al.* Evaluation of mechanical properties of grouts substituting the natural coarse aggregate for ceramic civil construction waste. **Matéria (Rio de Janeiro)**, [S.L.], v. 25, n. 1, maio 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620200001.0878>.

ELKINGTON, John Brett. **Cannibals with forks: the triple bottom line of 21st century business**. Oxford: Capstone Publishing Ltd, 2010.

FERREIRA, R. L. S. *et al.* Avaliação das propriedades físicas, químicas e mineralógicas da fração fina (<150 µm) do agregado reciclado de RCD. **Cerâmica**, [S.L.], v. 65, n. 373, p. 139-146, jan. 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132019653732453>.

FRASSON, Sueli Aparecida; PASCHOALIN FILHO, João Alexandre. A Utilização dos Agregados Reciclados na Ótica de Profissionais do Setor da Construção Civil e Gestores de Usinas de Reciclagem de Entulho (URE). In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE GESTÃO DE PROJETOS, INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE, 6., 2017, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo, 2017. Disponível em: <http://www.singep.org.br/6singep/resultado/96.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2021

GOMES, Samuel de Carvalho *et al.* Progress in manufacture and properties of construction materials incorporating water treatment sludge: a review. **Resources, Conservation and Recycling**, [S.L.], v. 145, p. 148-159, jun. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.02.032>.

GONZÁLEZ-FONTEBOA, Belén *et al.* Structural recycled concrete: behaviour under low loading rate. **Construction And Building Materials**, [S.L.], v. 28, n. 1, p. 111-116, mar. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.08.010>.

JOSEPH, Miquel *et al.* Water absorption variability of recycled concrete aggregates. **Magazine Of Concrete Research**, [S.L.], v. 67, n. 11, p. 592-597, jun. 2015. Thomas Telford Ltd. <http://dx.doi.org/10.1680/mac.14.00210>.

KARPINSK, Luisete Andreis *et al.* **Gestão Diferenciada de Resíduos da Construção Civil: uma abordagem ambiental**. Porto Alegre: Edipucrs, 2009. 163 p.

KHALAF, Fouad M.; DEVENNY, Alan S. Recycling of Demolished Masonry Rubble as Coarse Aggregate in Concrete: review. **Journal Of Materials In Civil**

Engineering, [S.L.], v. 16, n. 4, p. 331-340, ago. 2004. American Society of Civil Engineers (ASCE). [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)0899-1561\(2004\)16:4\(331\)](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)0899-1561(2004)16:4(331)).

LAPA, José Silva. **Estudo de viabilidade técnica de utilização em argamassas do resíduo de construção oriundo do próprio canteiro de obra**. 2011. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

LEDESMA, E.F. *et al.* Properties of masonry mortars manufactured with fine recycled concrete aggregates. **Construction And Building Materials**, [S.L.], v. 71, p. 289-298, Nov. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.08.080>.

MACIEL, Luciana Leone *et al.* **Recomendações para a execução de revestimentos de argamassa para paredes de vedação internas e exteriores e tetos**. São Paulo, 1998.

MATTOS, Aldo Dórea. **Como preparar orçamentos de obras**. 1. Ed. São Paulo: Editora Pini, 2006. 286 p.

MI, Renjie *et al.* Utilizing recycled aggregate concrete in sustainable construction for a required compressive strength ratio. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 276, p. 124249, dez. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124249>.

NASCIMENTO, Gizela Barbosa do. **Caracterização e utilização de pó-de-pedra em revestimentos para restauração de edificações históricas em estilo art déco**. 2008. 189 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

PERSISTENCE MARKET RESEARCH (EUA). **Global Market Study on Construction Aggregates**: crushed stone product type segment projected to register high value and volume CAGR during 2017 - 2025. Nova Iorque: PMR, 2017. Disponível em: https://issuu.com/shreyas019/docs/global_construction_aggregates_mark. Acesso em: 10 Jan. 2021

POON, Chi Sun; CHAN, Dixon. Feasible use of recycled concrete aggregates and crushed clay brick as unbound road sub-base. **Construction And Building Materials**, [S.L.], v. 20, n. 8, p. 578-585, out. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.01.045>.

BELO HORIZONTE. Prefeitura de Belo Horizonte. Superintendência de Desenvolvimento da Capital. **Tabela de preços**. 2021. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/sudecap/tabela-de-precos>. Acesso em: 9 mar. 2021. PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. Decreto nº 16.217, de 26 de janeiro de 2016. In: **Diário Oficial do Município**. Belo Horizonte: Secretaria Municipal de Governo, 2016.

RAINI, Imane *et al.* Evaluation of mortar properties by combining concrete and brick wastes as fine aggregate. **Case Studies In Construction Materials**, [S.L.], v. 13, p. e00434, dez. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00434>.

RAO, Akash; JHA, Kumar N.; MISRA, Sudhir. Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete. **Resources, Conservation And Recycling**, [S.L.], v. 50, n. 1, p. 71-81, mar. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2006.05.010>.

RIBEIRO, Carmen Couto; PINTO, Joana Darc da Silva; STARLING, Tadeu. **Materiais de construção civil**. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006. 212 p.

SALVI, Chanalisa Ruggini. **Estudo da viabilidade da utilização de agregados reciclados provenientes de RCD em estradas rurais e florestais**. 2019. 151 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Estruturas de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, 2020.

SILVA, R.V.; BRITO, J. de; DHIR, R.K.. Use of recycled aggregates arising from construction and demolition waste in new construction applications. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 236, p. 117629, Nov. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117629>.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (Geneva). **Eco-efficiency Learning Module**. 2006. Disponível em: <https://www.wbcasd.org/Projects/Education/Resources/Eco-efficiency-Learning-Module>. Acesso em: 12 jan. 2021.

ZHOU, Lei; LOWE, David J. Economic Challenges of Sustainable Construction. In: RICS CONSTRUCTION AND BUILDING RESEARCH CONFERENCE, 2003, Wolverhampton. **Proceedings of the RICS Construction and Building Research Conference**. Wolverhampton: D Proverbs, 2003. p. 113-126.