



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ESTRUTURAL E CONSTRUÇÃO CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL: ESTRUTURAS E
CONSTRUÇÃO CIVIL

DAVI VALENTE SANTOS

ANÁLISE TÉCNICA E FINANCEIRA DA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE
CONSTRUÇÃO CIVIL: ESTUDO DE CASO

FORTALEZA

2018

DAVI VALENTE SANTOS

ANÁLISE TÉCNICA E FINANCEIRA DA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE
CONSTRUÇÃO CIVIL: ESTUDO DE CASO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Construção civil

Orientador(a): Prof. Dr. Antônio Eduardo Bezerra Cabral

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S234a Santos, Davi.
Análise técnica e financeira da reciclagem de resíduos de construção civil : Estudo de caso / Davi Santos. – 2018.
135 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil, Fortaleza, 2018.
Orientação: Prof. Dr. Antonio Eduardo Bezerra Cabral.
1. Resíduos de construção civil. 2. Reciclagem. 3. Gestão. 4. Análise Técnica. 5. Custos. I. Título.
CDD 624.1
-

DAVI VALENTE SANTOS

ANÁLISE TÉCNICA E FINANCEIRA DA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE
CONSTRUÇÃO CIVIL: ESTUDO DE CASO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Construção Civil.

Aprovada em: 08/06/2018.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Antônio Eduardo Bezerra Cabral (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Alexandre Araújo Bertini
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Helena Carasek Cascudo
Universidade Federal de Goiás (UFG)

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me ajudado e me dado força em todos os momentos.

A meus pais, Otacilânea Valente Santos e Dario de Oliveira Santos Filho (*in memorian*), por tudo que me ensinaram, pela educação pautada na ética e pelo apoio em todas as etapas da minha vida.

À CAPES, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio.

Ao Prof. Dr. Antonio Eduardo Bezerra Cabral, pela excelente orientação.

Aos professores participantes da banca examinadora, Alexandre Araújo Bertini e Helena Carasek Cascudo, pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos colaboradores do Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC), em especial a Helano Wilson Pimentel, José Maurício Lima Barreto e Moisés, além do antigo colaborador Manuel, por todo o auxílio prestado nos ensaios da minha pesquisa e pelas contribuições dadas para a pesquisa.

Agradeço aos meus grandes amigos David Alison, Leandro Eiró, Lucas Novaro, Matheus Sampaio, Ramiro Novaro e Rafael Victor pelo apoio em todas as horas e momentos de descontração.

Aos amigos da turma de 2016.1 do mestrado pelas reflexões, críticas, sugestões recebidas e momentos de descontração.

“Insanidade é continuar fazendo sempre a mesma coisa e esperar resultados diferentes.”

Albert Einstein

RESUMO

A produção de resíduos da indústria da construção civil representa 50% do total de resíduos sólidos urbanos gerados a nível global. Alguns trabalhos abordam a gestão desde a geração do resíduo, sua retirada do canteiro, processamento do material para reciclagem fora da obra geradora ou análise de custos desse processo de reciclagem fora da fonte geradora. Todavia, encontram-se poucos estudos sobre a viabilidade econômica da reciclagem de resíduos no próprio canteiro, considerando a logística reversa do processo e a gestão da construção, sendo essa uma lacuna importante de pesquisa. O presente trabalho tem como objetivo geral avaliar técnica e economicamente, à luz de conceitos de sustentabilidade e de logística, a reciclagem de resíduos classe A em obras de construtora de grande porte. O estudo foi dividido em quatro etapas: 1) estudo da cadeia de gestão e gerenciamento de RCC da empresa, 2) reciclagem do resíduo classe A, 3) aplicação dos agregados reciclados e 4) avaliação do uso dos agregados reciclados em obra. Foram realizados traços de argamassa de contrapiso, emboço interno e externo, considerando a substituição de areia por agregado reciclado de concreto e argamassa, nos teores de 25% e 50%, além dos traços de referência utilizados na empresa. Os resultados financeiros indicam que o cenário mais eficiente seria o que contempla a trituração de resíduo, sem possibilidade de reciclagem do mesmo e a aquisição de agregado reciclado. Destaca-se que o cenário que considerou o beneficiamento do resíduo no canteiro apresentou custo de 12% acima caso financeiramente mais viável e 11% abaixo do cenário que não considerou o processo de britagem ou mesmo a aquisição de agregado reciclado. No que compete às propriedades da argamassa no estado fresco, foram avaliados a consistência, teor de ar incorporado e densidade de massa. Nesses quesitos verificou-se que há diferença significativa somente do teor de ar incorporado das argamassas com os agregados reciclados quando comparado com as argamassas com agregado natural. No que tange ao estado endurecido, verificaram-se as propriedades de densidade de massa aparente, módulo de elasticidade dinâmico, resistência à tração na flexão, à compressão e de aderência, fissuras e permeabilidade. Observou-se que todas as propriedades apresentaram casos de diferenças significativas e não significativas entre as argamassas. Notou-se ainda que as fissuras foram reduzidas com a substituição de areia natural por agregado reciclado e que, quanto à aderência, as argamassas de emboço externo com agregado reciclado apresentaram acréscimo de até 40% em relação ao traço com areia natural.

Palavras-chave: Resíduos de construção civil. Reciclagem. Gestão. Análise Técnica. Custos.

ABSTRACT

The production of waste from the construction industry represents 50% of the total urban solid waste generated globally. Some works deal with management from the generation of waste, removal from the site, processing of the material for recycling outside the generating work or analysis of costs of this recycling process outside the generating source. However, there are few studies on the economic viability of waste recycling at the site, considering the reverse logistics of the process and construction management, which is an important research gap. The present work has the general objective to evaluate technically and economically, in the light of concepts of sustainability and logistics, the recycling of Class A waste in works of large construction. The study was divided into four stages: 1) study of the chain of management and management of the company's RCC, 2) recycling of class A waste, 3) application of recycled aggregates and 4) evaluation of the use of recycled aggregates on site. Trace of subfloor mortar, internal and external paving, considering the replacement of sand by recycled aggregate of concrete and mortar, in the contents of 25% and 50%, in addition to the reference traces used in the company. The financial results indicate that the most efficient scenario would be the one that contemplates the grinding of waste, without possibility of recycling of the same and the acquisition of recycled aggregate. It is worth noting that the scenario that considered the recovery of the residue at the site had a cost of 12% above the financially more feasible case and 11% below the scenario that did not consider the crushing process or even the acquisition of a recycled aggregate. Regarding the properties of the mortar in the fresh state, the consistency, the incorporated air content and the mass density were evaluated. In these cases it was observed that there is significant difference only of the incorporated air content of the mortars with the recycled aggregates when compared with the mortars with natural aggregate. As regards the hardened state, the properties of bulk density, dynamic modulus of elasticity, tensile strength in bending, compression and adhesion, cracking and permeability were verified. It was observed that all the properties presented cases of significant and non-significant differences between the mortars. It was also observed that the cracks were reduced with the substitution of natural sand for recycled aggregate and that, in terms of adhesion, external plaster mortars with recycled aggregate increased up to 40% in relation to the natural sand trace.

Keywords: Civil Construction residues. Recycling. Management. Technical analysis. Cost.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução de consumo de agregados no Brasil e projeção.	15
Figura 2 – Classificação de resíduos de construção civil de acordo com a resolução nº 307 do CONAMA.....	21
Figura 3 – Total de RCC coletados no Brasil e regiões (t x 1000/ano).....	23
Figura 4 – Pirâmide da hierarquia de gestão de resíduos.	31
Figura 5 – Esquema do plano de gerenciamento.....	32
Figura 6 – Processo logístico reverso.	35
Figura 7 – Fluxograma de estudo de caso.	53
Figura 8 – Triturador de entulho TE2 - CSM.....	55
Figura 9 – Britador Queixada Q200 RI.	56
Figura 10 – AIMS: Visão geral (a) e parte interna do equipamento (b).....	59
Figura 11 – Ensaio de permeabilidade em painel do traço de referência.	61
Figura 12 – Painéis de emboço externo.....	61
Figura 13 – Análise acumulada de compra de areia e geração de resíduos no tempo.....	63
Figura 14 – Análise acumulada de consumo de areia por serviço e geração de agregado reciclado no tempo.....	63
Figura 15 – Análise acumulada de consumo de areia por serviço e geração de agregado reciclado no tempo.....	64
Figura 16 – Análise de custos dos cenários.....	70
Figura 17 – Agregados naturais e reciclados.....	72
Figura 18 – Granulometria de areia e agregados reciclados.....	73
Figura 19 – Imagens de areia natural obtidas pelo AIMS.	76
Figura 20 – Imagens do agregado reciclado AM obtidas pelo AIMS.	77
Figura 21 – Distribuição de forma 2D da areia - AIMS.....	78
Figura 22 – Distribuição de forma 2D do agregado reciclado AM - AIMS.....	78
Figura 23 – Distribuição de angularidade da areia - AIMS.....	79
Figura 24 – Distribuição de angularidade do agregado reciclado AM - AIMS.	79
Figura 25 – Distribuição de fases das argamassas em volume.....	82
Figura 26 – Resistência à tração na flexão.	83
Figura 27 – Resistência à compressão.....	84
Figura 28 – Permeabilidade (ml/min).....	89
Figura 29 – Resistência média de aderência à tração.	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Classificação de resíduos sólidos segundo a NBR 10004 (ABNT, 2004).....	20
Tabela 2	– Quantidade de geração de resíduos de construção civil	24
Tabela 3	– Compilação de dados de composição de RCC de diversas regiões.....	26
Tabela 4	– Requisitos para agregado reciclado	44
Tabela 5	– Dados técnicos do triturador de entulho TE2 - CSM.	55
Tabela 6	– Dados técnicos do britador Queixada Q200 RI	56
Tabela 7	– Ensaio para análise técnica.....	58
Tabela 8	– Ensaio de argamassas no estado endurecido.....	58
Tabela 9	– Traços das argamassas.....	59
Tabela 10	– Limites de classificação AIMS	60
Tabela 10	– Análise de custos do cenário 1.....	65
Tabela 11	– Análise de custos do cenário 2.....	65
Tabela 12	– <i>Payback</i> descontado de aquisição Triturador de entulho TE2 - CSM.....	66
Tabela 13	– Análise de custos do cenário 3.....	67
Tabela 14	– Análise de custos do cenário 4.....	67
Tabela 15	– Análise de custos do cenário 5.....	68
Tabela 16	– <i>Payback</i> descontado de aquisição do britador Queixada Q200 RI.....	68
Tabela 17	– Características químicas do cimento (valores médios).....	71
Tabela 18	– Características físicas e mecânicas do cimento (valores médios).	71
Tabela 20	– Dimensões em percentuais principais de areias e agregados reciclados	74
Tabela 21	– Caracterização de agregados naturais e reciclados	74
Tabela 22	– Resultados da caracterização geral dos agregados avaliados.	75
Tabela 23	– Classificação da forma dos agregados.....	75
Tabela 24	– Classificação da angularidade dos agregados.....	75
Tabela 25	– Traço em massa de argamassa.....	80
Tabela 26	– Quantidade de materiais (em kg) por m ³ de argamassa.....	80
Tabela 27	– Propriedades das argamassas no estado fresco.....	81
Tabela 28	– Análise de variância de teor de ar incorporado.	81
Tabela 29	– Análise de variância de densidade de massa no estado fresco.	81
Tabela 30	– Análise de variância de resistência à tração na flexão.....	83
Tabela 31	– Análise de variância de resistência à compressão	85
Tabela 32	– Densidade de massa aparente e módulo de elasticidade dinâmico.....	86

Tabela 33	– Análise de variância da densidade de massa aparente no estado endurecido....	86
Tabela 34	– Análise de variância do módulo de elasticidade dinâmico.....	87
Tabela 35	– Medições de fissuração.....	88
Tabela 36	– Análise de variância da resistência de aderência à tração	90
Tabela A1	– Absorção de agregados produzidos por diversos autores	112
Tabela A2	– Massa específica de agregados produzidos por diversos autores	113
Tabela A3	– Resistência à tração na flexão produzidos por diversos autores.....	115
Tabela A4	– Resistência à compressão produzidos por diversos autores.....	116
Tabela A5	– Levantamento de resultados de vários autores referentes à resistência de aderência à tração de revestimentos de argamassa contendo RCC.....	118
Tabela A6	– Módulos de elasticidade dinâmico produzidos por diversos autores.....	122
Tabela A7	– Resultados de ensaios de resistência à tração na flexão	124
Tabela A8	– Análise de variância de resistência à tração na flexão aos 7 dias para traços de contrapiso.....	125
Tabela A9	– Análise de variância de resistência à tração na flexão aos 28 dias para traços de contrapiso.....	125
Tabela A10	– Análise de variância de resistência à tração na flexão aos 7 dias para traços de emboço interno.....	126
Tabela A11	– Análise de variância de resistência à tração na flexão aos 28 dias para traços de emboço interno.....	126
Tabela A12	– Análise de variância de resistência à tração na flexão aos 7 dias para traços de emboço externo.....	126
Tabela A13	– Análise de variância de resistência à tração na flexão aos 28 dias para traços de emboço externo.....	126
Tabela A14	– Resultados de ensaios de resistência à compressão	126
Tabela A15	– Análise de variância de resistência à compressão aos 7 dias para traços de contrapiso.....	129
Tabela A16	– Análise de variância de resistência à compressão aos 28 dias para traços de contrapiso.....	129
Tabela A17	– Análise de variância de resistência à compressão aos 7 dias para traços de emboço interno.....	130
Tabela A18	– Análise de variância de resistência à compressão aos 28 dias para traços de emboço interno.....	130

Tabela A19 – Análise de variância de resistência à compressão aos 7 dias para traços de emboço externo.....	130
Tabela A20 – Análise de variância de resistência à compressão aos 28 dias para traços de emboço externo.....	130
Tabela A21 – Análise de variância da densidade de massa aparente no estado endurecido para traços de contrapiso.....	130
Tabela A22 – Análise de variância da densidade de massa aparente no estado endurecido para traços de emboço interno	131
Tabela A23 – Análise de variância da densidade de massa aparente no estado endurecido para traços de emboço externo.....	131
Tabela A24 – Análise de variância do módulo de elasticidade dinâmico para traços de contrapiso.....	131
Tabela A25 – Análise de variância do módulo de elasticidade dinâmico para traços de emboço interno	131
Tabela A26 – Análise de variância do módulo de elasticidade dinâmico para traços de emboço externo.....	131
Tabela A27 – Resultados de ensaio de permeabilidade.	132
Tabela A28 – Resultados de ensaios de resistência de aderência à tração.	132
Tabela A29 – Análise de variância da resistência de aderência à tração para traço de contrapiso.....	134
Tabela A30 – Análise de variância da resistência de aderência à tração para traço de emboço interno	135
Tabela A31 – Análise de variância da resistência de aderência à tração para traço de emboço externo.....	135

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Justificativa	14
1.2	Objetivos	18
<i>1.2.1</i>	<i>Objetivo geral</i>	18
<i>1.2.2</i>	<i>Objetivos específicos</i>	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1	Resíduos sólidos	19
2.2	Resíduos da construção civil	21
<i>2.2.1</i>	<i>Definições e classificação</i>	21
<i>2.2.2</i>	<i>Geração e composição de resíduos de construção civil</i>	22
<i>2.2.3</i>	<i>Reciclagem de RCC</i>	28
2.3	Gestão e gerenciamento do resíduo de construção civil	30
2.4	Viabilidade da reciclagem de RCC	36
<i>2.4.1</i>	<i>Definições</i>	36
<i>2.4.2</i>	<i>Viabilidade econômico-financeira</i>	36
<i>2.4.3</i>	<i>Estudos de viabilidade econômica de reciclagem de RCC</i>	38
2.5	Características do agregado reciclado	43
2.6	Características da argamassa com agregado reciclado	46
<i>2.6.1</i>	<i>Propriedades no estado fresco</i>	46
<i>2.6.2</i>	<i>Propriedades no estado endurecido</i>	47
3	METODOLOGIA	51
3.1	Delineamento e classificação da pesquisa	51
3.2	Caracterização do ambiente de pesquisa	53
<i>3.2.1</i>	<i>Obras utilizadas no estudo</i>	53
<i>3.2.2</i>	<i>Análise de cenários</i>	54
3.3	Análise técnica	57
<i>3.3.1</i>	<i>Definições de aplicações</i>	57
<i>3.3.2</i>	<i>Ensaio</i>	57
4	APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	62
4.1	Análise financeira – Obra A	62
<i>4.1.1</i>	<i>Aspectos gerais</i>	62
<i>4.1.2</i>	<i>Análise de cenários</i>	64
<i>4.1.3</i>	<i>Análise de custos</i>	69

4.2	Análise técnica – Obra B	70
4.2.1	Generalidades	70
4.2.2	Caracterização dos materiais	71
4.2.2.1	<i>Aglomerantes</i>	71
4.2.2.2	<i>Agregados miúdos naturais e reciclados</i>	72
4.2.3	Propriedades da argamassa no estado fresco	80
4.2.4	Propriedades da argamassa no estado endurecido	83
4.2.4.1	<i>Resistência à tração na flexão</i>	83
4.2.4.2	<i>Resistência à compressão</i>	84
4.2.4.3	<i>Densidade de massa aparente no estado endurecido e módulo de elasticidade dinâmico</i>	86
4.2.5	Propriedades da argamassa de revestimento	88
4.2.5.1	<i>Fissuração</i>	88
4.2.5.2	<i>Permeabilidade</i>	89
4.2.5.3	<i>Resistência de aderência à tração</i>	90
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	92
5.1	Conclusões	92
5.2	Sugestões de trabalhos futuros	93
	REFERÊNCIAS	95
	APÊNDICE	112

1 INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa

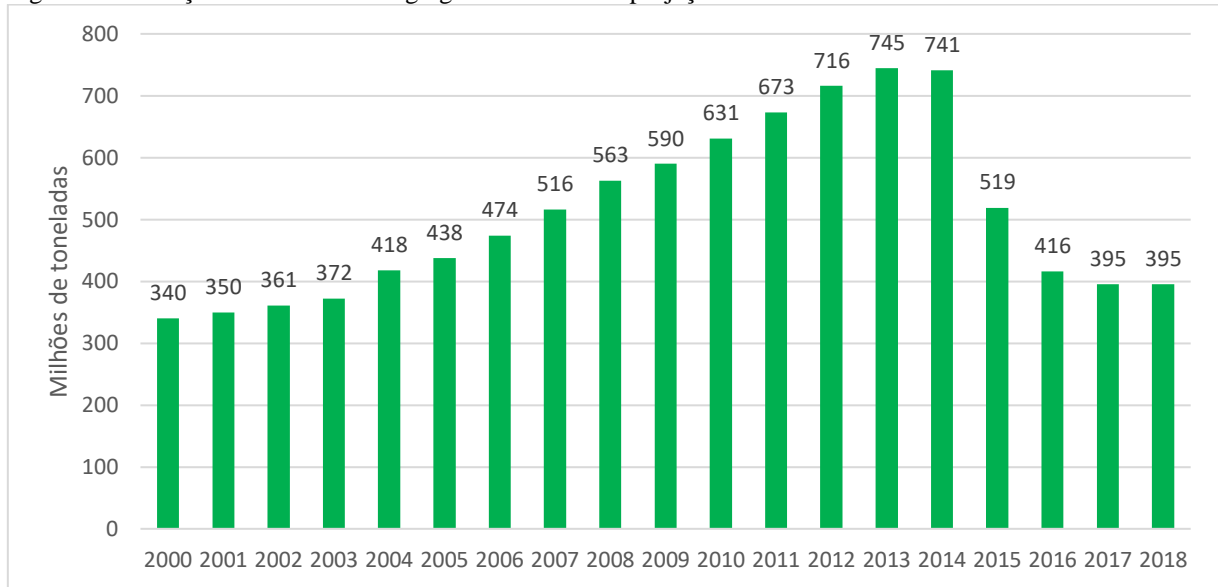
Em países em desenvolvimento como o Brasil, o setor da construção civil possui papel importante no processo de crescimento e redução do desemprego, em virtude da sua célere capacidade de geração de vagas diretas e indiretas no mercado de trabalho. Assim, percebe-se o papel estratégico do setor no combate ao déficit habitacional e desemprego. Todavia, a construção civil é uma atividade econômica com efeitos nocivos ao meio ambiente por contribuir para o esgotamento dos recursos naturais, consumir energia, poluir o ar, solo e água e produzir resíduos (NETO, 2005).

O crescimento da indústria da construção tem elevado consideravelmente o consumo de matérias-primas naturais e a produção de resíduos de construção civil (RCC), intensificando problemas derivados de procedimentos inadequados, como a disposição sem controle desses resíduos nas grandes cidades (OSSA; GARCÍA; BOTERO, 2016). Destaca-se que as construtoras são responsáveis por 50% dos resíduos de construção civil gerados no Brasil, enquanto que o restante são gerados informalmente (JOHN *et al.*, 2004). Além disso, por serem materiais volumosos e de elevado peso específico, a disposição de RCC acaba tendo impacto ambiental negativo.

Apesar da sua importância para o desenvolvimento do país, o setor da construção civil arca com o ônus de ser um elo da cadeia produtiva responsável por um impacto ambiental significativo oriundo de suas atividades (PASCHOALIN FILHO *et al.*, 2013). Dessa maneira, é importante que sejam criadas na construção civil novas ferramentas de gerenciamento no intuito de se enfrentar os desafios gerados por suas etapas construtivas.

Nesse contexto, observa-se, na Figura 1, a expansão do consumo de agregados no Brasil e sua projeção até 2018 (AMARAL, 2016). Embora se observe redução de consumo a partir de 2015, devido à crise econômica que tanto afetou o setor, esse se mostra ainda muito significativo. O consumo excessivo desses agregados, a forma ineficiente do seu uso dentro da indústria da construção civil (ICC) e o manuseio inadequado dos mesmos, durante a execução das obras, causam também alguns impactos ambientais negativos ao meio ambiente (PIMENTEL, 2013).

Figura 1 - Evolução de consumo de agregados no Brasil e projeção.



Fonte: Amaral (2016).

É pacífico no meio científico que a geração de resíduo de construção é considerada atividade insustentável que causa progressiva deterioração do meio ambiente (MEJÍA *et al.*, 2015). Esse representa 50% do total de resíduos sólidos urbanos gerados a nível global (RODRIGUES *et al.*, 2013). No Brasil, se produz mais de 70 Mt/ano de RCC (CONTRERAS *et al.*, 2016). Além disso, a atividade de construção consome 40% dos recursos naturais não renováveis (YUAN; SHEN; LI, 2011). Destaca-se ainda que cerca de 90% da massa total de resíduos de construção civil (RCC) gerada no Brasil e na Europa é composta por concretos, argamassas, solo e gesso (ULSEN *et al.*, 2010). Em Fortaleza, no estado do Ceará, o RCC é composto de 93,4% da classe A, conforme classificação da resolução nº 307 do CONAMA (LIMA; CABRAL, 2013).

Mais de 75% dos resíduos gerados pela indústria da construção civil têm potencial de valorização, reciclagem ou reuso (YEHEYIS *et al.*, 2013). Os RCC apresentam, portanto, elevado potencial de reciclagem e baixa periculosidade, conseqüentemente, não os reaproveitar significa perder importante fonte de materiais alternativos. O uso desses resíduos como agregados alternativos pode contribuir para reduzir a retirada de matéria-prima de fontes não-renováveis e minorar gastos e impactos associados com a extração de recursos naturais (CARNEIRO *et al.*, 2001).

A incorporação de agregados graúdos provenientes de RCC na confecção de concreto e argamassa tem sido amplamente estudada por vários pesquisadores (ZORDAN, 1997; OLIVEIRA, 2002; VIEIRA; DAL MOLIN, 2004; CABRAL, 2007; CORREIA; BRITO;

PEREIRA, 2007; ETXEBERRIA *et al.*, 2007; RICHARDSON; COVENTRY; BACON, 2011; KOU; POON; WAN, 2012; SHEEN *et al.*, 2013; SILVA; DE BRITO; DHIR, 2014; BRAVO *et al.*, 2015a, 2015b; MEDINA *et al.*, 2015). Porém, não há consenso na utilização de tais agregados reciclados como agregados miúdos, uma vez que estes apresentam características potencialmente prejudiciais ao concreto e à argamassa, devido à sua elevada absorção de água (BRAVO *et al.*, 2015b).

A proporção de agregados miúdos gerados em relação aos resíduos de construção fica em torno de 40% (ULSEN *et al.*, 2004), podendo variar entre 12% a 60% (BIANCHINI *et al.*, 2005), o que se revela muito significativo, justificando a busca pela reutilização de tal material.

Pesquisas realizadas por Khatib (2005), Evangelista e Brito (2007, 2014) indicam a viabilidade do uso de RCC como agregado miúdo, desde que não leve a perdas significativas das propriedades do concreto ou das argamassas, sejam em termos mecânicos, ou em durabilidade.

Destaca-se ainda os estudos de Assunção, Carvalho e Barata (2007) e de Brum e Duarte (2014) que versam sobre aplicação de agregados reciclados em argamassas no Brasil. Estes apresentaram resultados de absorção maiores, conseqüentemente necessitando-se de mais água nos traços com agregados reciclados. Todavia todos apresentaram melhores resultados mecânicos, estando em consonância com a literatura supracitada.

Os resíduos de construção civil, quando não reciclados, frequentemente são depositados clandestinamente, ocasionando diversos prejuízos adicionais para o meio ambiente, impactando na qualidade de vida das comunidades. Essa realidade gera transtornos para as prefeituras, que arcam com os vários ônus sociais e sanitários associados à essa situação, tais como: desordem nos transportes, favorecimento de enchentes provocadas por assoreamento dos rios e entupimentos de galerias, degradação da paisagem urbana e contribuição para a proliferação de doenças (FERNANDES, 2013).

Apesar da unanimidade da importância de se analisar, estudar, tratar e reutilizar o RCC, ainda são poucas as iniciativas públicas e privadas na adoção dessa prática, embora já se tenha observado evolução no tema. Os avanços observados são pontuais nas legislações municipais específicas, nas ações de estímulo à utilização dos agregados reciclados em obras públicas e privadas, na implantação de usinas de reciclagem e na prática desta nos canteiros de

obra, refletindo-se na falta de informações consistentes sobre o volume de agregado reciclado gerado no país. Esse panorama corrobora o observado por Evangelista, Costa e Zanta (2010).

Nesse cenário se insere a resolução nº 307 de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que classifica os resíduos de construção civil em diferentes classes em função de suas características, além de apresentar a sua destinação final. Essa resolução destaca ainda que esses resíduos não poderão ser dispostos em aterros de resíduos domiciliares, em áreas de “bota-fora”, encostas, corpos hídricos, lotes vagos e em áreas protegidas por lei, ficando a cargo do gerador a destinação final correta dos resíduos produzidos.

São poucos os estudos acerca do processo de reciclagem nos canteiros com uma análise mais ampla de sua gestão (EVANGELISTA; COSTA; ZANTA, 2010). Os mesmos autores destacam ainda que, considerando os aspectos citados, faz-se necessário ampliar as pesquisas no campo da avaliação do processo de reciclagem nos canteiros de obras e no estabelecimento de diretrizes para ampliação dessa prática como uma alternativa para minimizar os impactos socioambientais causados pelo descarte inadequado desses resíduos, preservar recursos naturais e melhorar a qualidade de vida nas áreas urbanas.

A utilização de práticas gerenciais que visem à sintonia das operações do setor da construção com a sustentabilidade, consiste em um importante paradigma a ser discutido pelo meio técnico, uma vez que proporciona a redução da pegada ambiental causada pela sua cadeia produtiva, dos custos incorridos, principalmente no transporte e deposição de resíduos e importação de matéria prima e colabora na solidificação de uma boa imagem das empresas envolvidas junto ao mercado consumidor e *stakeholders* (PASCHOALIN FILHO *et al.*, 2016).

Destaca-se ainda que os poucos estudos que se têm em reciclagem em canteiro focam na questão técnica conforme trabalho de Evangelista (2009). Outros trabalhos abordam a gestão desde a geração do resíduo, sua retirada do canteiro, processamento do material para reciclagem fora da obra geradora ou análise de custos desse processo de reciclagem fora da fonte geradora (PENG; SCORPIO; KIBERT, 1997; DURAN; LENIHAN; O'REGAN, 2006; NUNES *et al.*, 2007; NOVAES; MOURÃO, 2008; ZHAO; LEEFTINK; ROTTER, 2010; MARTINS, 2012; COELHO; BRITO, 2013a, 2013b; SOUZA, 2016; FERNANDO; SILVA, 2016; PASCHOALIN FILHO *et al.*, 2016; ROBERTO; BEZERRA; FARIA, 2017).

Todavia, encontram-se poucos estudos sobre a viabilidade econômica de reciclagem de resíduos no próprio canteiro, considerando a logística reversa do processo e a gestão da construção, sendo essa uma lacuna importante de pesquisa. Destaca-se apenas os

trabalhos de Evangelista (2009) e de Brum e Duarte (2014) que realizaram a análise econômica da reciclagem no próprio canteiro.

Portanto, inserido nesse contexto, com esse trabalho busca-se estabelecer uma análise técnica e financeira da reciclagem de resíduos na obra em construtora localizada em Fortaleza, levando-se em consideração aspectos gerenciais, logísticos, técnicos e ambientais, de forma a gerar material de referência que possa ajudar empresas construtoras e órgãos públicos na fiscalização, de forma a melhorar esse cenário.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Realizar uma análise técnica e de custos, à luz de conceitos de sustentabilidade e de logística, da reciclagem de resíduos classe A em obras de construtora de grande porte.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) analisar o fluxo de geração de resíduos de obras de construção civil e uma logística de coleta, tratamento e reciclagem do RCC dessas obras;
- b) avaliar tecnicamente os agregados reciclados provenientes do RCC classe A e suas aplicações em argamassa;
- c) avaliar os custos da proposição dessa gestão de resíduos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Resíduos sólidos

Segundo a NBR 10004 (ABNT, 2004), resíduos sólidos são “resíduos nos estados sólidos e semissólidos, 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 cujas 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”.

A lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), aborda ainda a diferenciação de resíduo sólido e rejeito. A segunda se estabelece como “resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada”. Nesse sentido, os rejeitos são resíduos sólidos que não podem mais ser recuperados, cabendo-lhes somente a disposição em aterros (SILVA FILHO; SOLER, 2015).

Percebe-se que os processos de destinação listados pela política guardam consideráveis distinções entre si. Alguns processos de tratamento de resíduos têm por finalidade o aproveitamento dos resíduos ou seus componentes, e outros, seu tratamento, enquanto na disposição final se procede à eliminação dos rejeitos (SILVA FILHO; SOLER, 2015).

A norma NBR 10004 (ABNT, 2004) classifica os resíduos quanto aos seus potenciais riscos ambientais em Classe I – perigosos, Classe II A – não perigosos e não inertes, e Classe II B – não perigosos e inertes, conforme Tabela 1.

A NBR 10004 (ABNT, 2004) descreve ainda cinco aspectos que conferem periculosidade aos resíduos sólidos, sendo eles inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. Destaca-se aqui, em virtude do presente trabalho abordar resíduos de construção civil, os aspectos de corrosividade, reatividade e toxicidade.

No que compete ao ensaio de solubilização, identifica-se solubilidade do resíduo sólido, caracterizando-o como solúvel ou não solúvel. A solubilização simula o desprendimento

de substâncias constituintes dos resíduos em situação de chuva não ácida, podendo essas substâncias ocasionar a contaminação do solo ou de recursos hídricos (RAMOS, 2007).

Tabela 1 – Classificação de resíduos sólidos segundo a NBR 10004 (ABNT, 2004).

Classificação de resíduos sólidos pela NBR 10004 (ABNT, 2004)	
Classe I (perigosos)	Resíduos que apresentam periculosidade (riscos à saúde pública e ao meio ambiente), inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.
Classe IIA (não-perigosos e não inertes)	Resíduos que não se enquadram na Classe I nem na Classe II B. Podem ter propriedades tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
Classe IIB (não-perigosos e inertes)	Resíduos que, quando submetidos a ensaios de solubilização da NBR 10.006/2004 em contato com água destilada ou desionizada, não apresentam teores solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

Fonte: NBR 10004 (ABNT, 2004).

Pode-se ainda classificar os resíduos sólidos, quanto à fonte geradora, em três categorias: resíduos urbanos, resíduos sólidos industriais e resíduos especiais (SCHALCH, 2002; MARTINS, 2004).

Para os autores supracitados, os resíduos sólidos urbanos implicam em resíduos resultantes das residências, resíduos de serviços de saúde, resíduos de construção civil, resíduos de poda e capina, resíduos de portos, aeroportos, terminais rodoviários e ferroviários e os resíduos de serviços, que abrangem os resíduos comerciais, os resíduos de limpeza de bocas de lobo e os resíduos de varrição, de feiras e outros.

Ainda conforme os mesmos autores, os resíduos sólidos industriais abrangem os resíduos das indústrias de transformação, os resíduos radiativos e os resíduos agrícolas. Por fim, os resíduos ditos como especiais, em função de suas características diferenciadas, nos quais se inserem os pneus, as pilhas e baterias e as lâmpadas fluorescentes. Esses precisam ter tratamentos especiais no seu manejo e disposição.

Tendo em vista que o trabalho abordará resíduos de construção, discutiu-se com maior profundidade esse tipo no tópico seguinte.

2.2 Resíduos da construção civil

2.2.1 Definições e classificação

De acordo com a Resolução nº 307 do CONAMA, o RCC é proveniente 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, argamassas, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha.

Essa resolução classifica ainda os resíduos de construção civil conforme ilustrado na Figura 2:

Figura 2 – Classificação de resíduos de construção civil de acordo com a resolução nº 307 do CONAMA.



Fonte: Adaptado de resolução nº 307 do CONAMA.

Os resíduos de construção representam uma das parcelas do consumo excessivo de materiais nos canteiros de obras (SOUZA *et al.*, 2004). Os autores destacam que a quantidade

de material utilizado em excesso pode ocorrer em razão de furto, incorporação de materiais à edificação ou pela geração de entulho. Considerando o entulho gerado na etapa de produção de um empreendimento, os RCC podem ser classificados segundo quatro critérios, conforme o estudo supracitado:

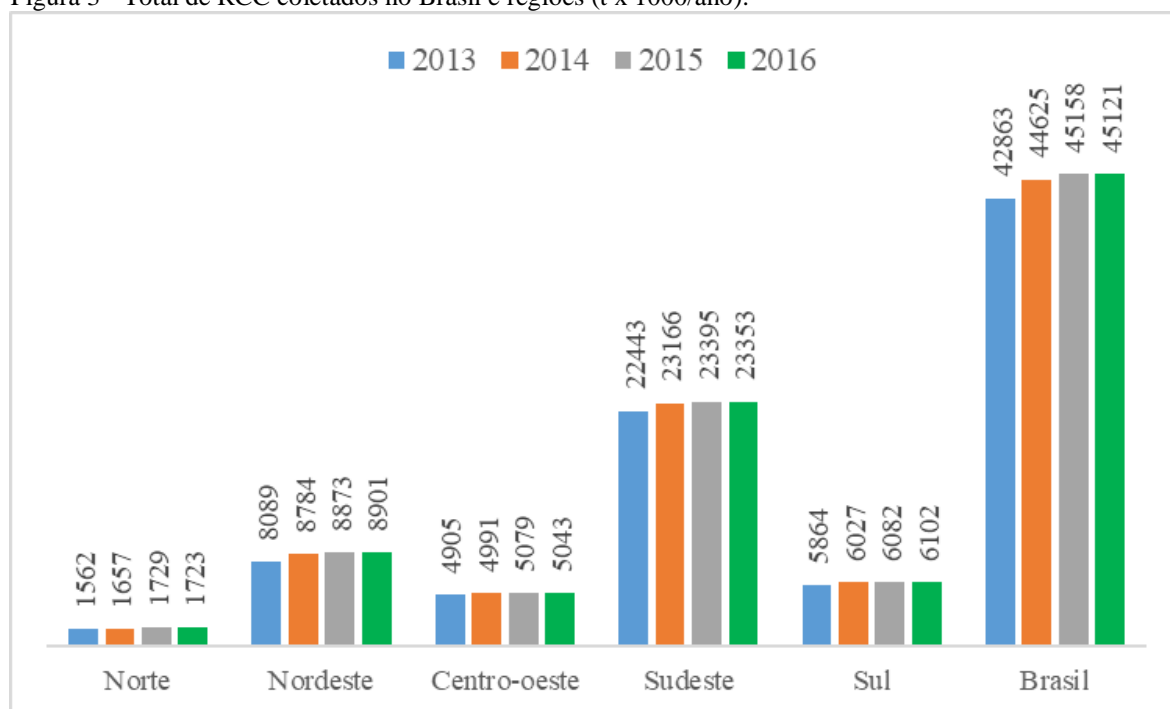
- a) forma de manifestação – correspondente à maneira como o resíduo foi gerado. Ex.: sacos de cimento empedrados, pontas de aço não reaproveitadas;
- b) momento de incidência – correspondente à etapa do processo em que o resíduo foi gerado: no recebimento, na estocagem, no armazenamento, na aplicação ou no transporte;
- c) causas – correspondente à razão primária para a geração do resíduo. Ex.: transporte inadequado, baixa qualidade do material, acidente, uso de ferramentas inadequadas;
- d) origem – correspondente à origem do problema, a tomada ou não de uma decisão que tenha ocasionado a geração de resíduo na sua etapa de ocorrência ou na anterior. Ex.: falta de modulação dos blocos de vedação.

2.2.2 Geração e composição de resíduos de construção civil

Praticamente todas as atividades desenvolvidas no setor da construção civil são geradoras de RCC. No processo construtivo, o alto e polêmico índice de perdas é a principal causa dos resíduos gerados. Embora nem toda a perda se transforme em resíduo, visto que uma parcela é incorporada à obra, os índices médios de perdas ilustra o quanto se é desperdiçado de materiais de construção (NETO, 2005). Para Pinto (1999), a intensidade de perdas de materiais de construção está situada de 20% a 30%, dependendo do patamar tecnológico. Já para Zordan (2002), a quantidade de RCC gerada corresponde, em média, a 50% do material desperdiçado.

Foram realizados quantitativos de resíduos de construção civil coletados por regiões do Brasil (ABRELPE, 2014, 2016). Esse estudo mostra que os municípios coletaram, em 2014, cerca de 45 milhões de toneladas de RCC, implicando no aumento de 4,1% em relação a 2013, conforme ilustrado na Figura 3. Esta situação, também observada em anos anteriores, exige atenção especial quanto ao destino final dado aos RCC, visto que a quantidade total desses resíduos é ainda maior, uma vez que os municípios, via de regra, coletam apenas os resíduos lançados nos logradouros públicos (ABRELPE, 2014).

Figura 3 - Total de RCC coletados no Brasil e regiões (t x 1000/ano).



Fonte: ABRELPE (2014, 2016).

A estimativa do volume gerado de RCC é um grande problema em função da limitação de estatísticas confiáveis e da ausência de classificação padronizada, o que dificulta comparações mais precisas entre os países (JOHN, 2000). A Tabela 2 ilustra consolidação de dados coletados no mundo acerca do tema. Destaca-se que os dados apresentados se referem apenas aos RCC geridos pelo poder público. Portanto, este número é muito maior se forem considerados os resíduos manejados pela ação privada e aqueles destinados de forma irregular.

No Brasil, tem-se sentido um crescimento na participação dos RCC no total dos resíduos sólidos urbanos (RSU) das cidades brasileiras. Diversas pesquisas apontam que os RCC já representam, em média, 50% dos RSU produzidos nas cidades brasileiras, com uma taxa média de geração em torno de 0,52 tonelada/habitante.ano (CABRAL, 2007).

Tabela 2 - Quantidade de geração de resíduos de construção civil.

Categoria	Local	Geração de RCC (ton/dia)	Geração de RCC (ton/hab.ano)	Ano de publicação
País	Reino Unido ¹	245.479	1,48	2013
	França ²	693.151	3,93	2011
	Portugal ³	12.124	0,42	2011
	Japão ⁴	2.055	0,01	2009
	Hong Kong ¹	48.359	2,21	2013
	Shanghai ⁵	57.808	1,1	2011
	Austrália ⁴	37.647	0,66	2009
	Tailândia ⁶	40.165	0,23	2009
	Estados Unidos ⁷	458.333	0,57	2012
	Brasil ⁸	191.781	0,5	2016
Cidade	São Paulo (SP) ⁹	17.014	0,53	2004
	São Carlos (SP) ¹⁰	101	0,17	2007
	Rio de Janeiro (RJ) ¹¹	2.877	0,18	2007
	Belo Horizonte (MG) ¹²	2.278	0,92	2011
	Maceió (AL) ¹³	1.151	0,57	2003
	Feira de Santana (BA) ¹⁴	274	0,21	2003
	Salvador (BA) ¹⁵	2.300	0,31	2010
	Fortaleza (CE) ¹⁶	702	0,11	2011
	Juazeiro do Norte (CE) ¹⁷	100	0,12	2012
	Crato (CE) ¹⁷	67	0,18	2012
	Goiânia (GO) ¹⁸	1.500	0,42	2010
	Porto Alegre (RS) ¹⁹	1.014	0,31	2007
	Passo Fundo (RS) ²⁰	101	0,2	2008
	Pelotas (RS) ²¹	404	0,12	2012
	Florianópolis (SC) ²²	795	0,24	2001
	Blumenau (SC) ²³	332	0,45	2003

Fonte: Adaptado de ¹Yu *et al.* (2013), ²Conorado *et al.* (2011), ³Coelho e Brito (2011), ⁴Tam (2009), ⁵Yuan *et al.* (2011), ⁶Kofoworola e Gheewala (2009), ⁷Yuan *et al.* (2012), ⁸Contreras *et al.* (2016), ⁹Schneider e Philippi Jr. (2004), ¹⁰Fagury e Grande (2007), ¹¹Nunel *et al.* (2007), ¹²Costa e Oliveira (2011), ¹³Vieira (2003), ¹⁴Freitas *et al.* (2003), ¹⁵Evangelista *et al.* (2010), ¹⁶Oliveira *et al.* (2011), ¹⁷Marinho e Silva (2012), ¹⁸Silva *et al.* (2010), ¹⁹Lovato (2007), ²⁰Bernardes *et al.* (2008), ²¹Tessaró *et al.* (2012), ²²Xavier (2001), ²³Sardá (2003).

Os resíduos de construção civil são extremamente heterogêneos e basicamente compostos por (CARNEIRO *et al.*, 2001):

- a) concretos, argamassas e rochas que, a princípio, apresentam alto potencial de reciclagem;
- b) materiais cerâmicos, como blocos, tijolos e lajotas, que também apresentam alto potencial reciclável sem necessidade de técnicas sofisticadas de beneficiamento;
- c) solos, areia e argila, materiais facilmente separados dos outros por meio de peneiramento;
- d) asfalto, material com alto potencial de reciclagem em obras viárias;
- e) metais ferrosos: utilizados pela indústria metalúrgica;
- f) madeiras: material parcialmente reciclável com o agravante de que se impermeabilizadas ou pintadas devem ser consideradas como material poluente e tratadas como resíduos industriais perigosos, em decorrência do risco de contaminação;
- g) outros materiais, como papel, papelão, plásticos, borrachas, etc, são passíveis de reciclagem. Devem ser adequadamente tratados e dispostos.

Os autores destacam ainda que as características dos RCC estão diretamente ligadas a parâmetros específicos da sua região geradora e da variação ao longo do tempo. A variabilidade de composição desses resíduos se deve aos tipos de construção, sendo decorrentes da cultura dos diversos países e regiões. Destaca-se ainda que muitos aspectos interferem nas características, composição e na quantidade desses resíduos, tais como:

- a) nível de desenvolvimento da indústria da construção civil local;
- b) qualidade e treinamento da mão-de-obra disponível;
- c) técnicas de construção e demolição empregadas;
- d) adoção de programas de redução de perdas e desperdícios e da melhora da qualidade;
- e) adoção de processos de reciclagem com reutilização dos materiais nos canteiros;
- f) tipos de materiais predominantes disponíveis na região;
- g) desenvolvimento de obras de arte na região (metrô, estações de tratamento de esgoto, restaurações de centros históricos, entre outras);

- h) desenvolvimento econômico e tecnológico da região;
- i) demanda por novas construções.

Diversos autores pesquisaram a composição dos RCC gerados em diversas cidades brasileiras e no mundo. Esses dados foram consolidados e estão ilustrados na Tabela 3. Infere-se desses estudos que há uma grande variabilidade de composições, seja por falta de padronização de produção de argamassas, seja por questões culturais, gerenciais ou de metodologia construtiva, conforme explanado por Evangelista (2009). Porém destaca-se a importância, em termos percentuais, dos resíduos classe A. Estes sempre se situam acima de 70% do total, o que ilustra o potencial da reciclagem desse material.

Tabela 3 – Compilação de dados de composição de RCC de diversas regiões

COMPOSIÇÃO DE RCCs DE DIVERSAS REGIÕES DO PAÍS												
AUTOR/FONTE	LOCAL	TIPO DE MATERIAL (%)										
		Concreto	Argamassa	Alvenaria	Material cerâmico	Rochas e brita	Solo e areia	Material asfáltico	Aço	Madeira	Papel e plástico	Outros
Pinto (1986)	São Carlos (SP)	4,2	63,7	18	11,1	1,4	0,1	-	-	-	0,2	1,3
Brito Filho (1999, p. 60)	São Paulo (SP)	8	24	-	30	-	33	-	-	-	-	5
Castro <i>et al.</i> (1997, p. 1672)	Itaitinga (SP)	12	-	-	3	-	82	-	-	-	-	3
Levy e Helene (1997)	Londrina (PR)	-	16	52		-	-	-	6	11	-	15
Assis e Oliveira (1998)	Guaratinguetá (SP)	7	41	22	-	-	-	-	-	-	-	30
De Baptisti (1999, p. 113)	Itaitinga (SP)	15	-	-	38	-	20	-	1	2	-	24
Ferraz <i>et al.</i> (2001, p. 78-84)	Freguesia do Ó (SP)	-	-	65	-	-	-	-	-	13	8	14
	Jaçanã (SP)	-	-	84	-	-	-	-	-	-	-	16
Zordan (1997, p. 89)	Ribeirão Preto (SP)	21	37	-	24	18	-	-	-	-	-	-
Latterza; Machado Jr. (1997, p. 1969)	Ribeirão Preto (SP)	15	46	-	19	19	-	-	-	-	-	1
Machado Jr. <i>et al.</i> (2000, p. 4)	Ribeirão Preto (SP)	14	48	-	15	23	-	-	-	-	-	-
Oliveira; Assis (1998, p. 102)	Guaratinguetá (SP)	7	41	22	-	-	-	-	-	-	-	30
Xavier; Rocha (2001, p. 62)	Florianópolis (SC)	30		-	19	-	-	-	-	28	-	23
Nobrega (2002)	Campina Grande (PB)	10	28	34	1	-	9	-	-	3	-	15
Carneiro (2000); Carneiro <i>et al.</i> (2001a, p. 150)	Salvador (BA)	53		-	-	5	22	-	-	-	-	6

Fonte: Adaptado de Vieira (2003), Jadovski (2005), Neto (2005), Lapa (2011), e Lima e Cabral (2013).

Continuação da Tabela 3 – Compilação de dados de composição de RCC de diversas regiões

COMPOSIÇÃO DE RCCs DE DIVERSAS REGIÕES DO PAÍS												
AUTOR/FONTE	LOCAL	TIPO DE MATERIAL (%)										
		Concreto	Argamassa	Alvenaria	Material cerâmico	Rochas e brita	Solo e areia	Material asfáltico	Aço	Madeira	Papel e plástico	Outros
I & T (1990); Pinto (1999, p. 19-20)	Santo André (SP)	4	64	18	11	-	-	-	-	-	-	3
Vieira (2003)	Maceió (AL)	18,7	27,8	48,2	3,1	-	-	-	-	-	-	2,3
Lima e Cabral (2013)	Fortaleza (CE)	15,6	22	24,8	6,3	-	24,6	-	-	-	1,4	5,2
Construction (1996)	Reino Unido	9		-	5	-	75	-	-	-	-	11
Hong Kong Polytechnic (1993)	Hong Kong	31	-	6	-	12	3	2	3	8	1	34
IBPGE (1995)	Bélgica	38	-	45	3	-	-	10	-	2	-	2
ITEC (1995)	Comunidade Europeia	40	-	45	-	-	-	-	4	8	3	-

Fonte: Adaptado de Vieira (2003), Jadovski (2005), Neto (2005), Lapa (2011), e Lima e Cabral (2013).

Destaca-se, em estudo realizado em Fortaleza por Lima e Cabral (2013), a análise de toxicidade dos resíduos de construção civil. Verificou-se que nenhuma das amostras apresentou concentrações de parâmetros superiores ao estabelecido na NBR 10004 (ABNT, 2004), não sendo, portanto, consideradas tóxicas segundo a norma supracitada. Entretanto os autores destacaram que, se fosse considerado a diretiva europeia 98/93/EC, três amostras do extrato lixiviado estariam contaminados com cromo, uma vez que o limite europeu é de apenas 0,05 mg/L, e com cádmio, considerando o limite europeu de 0,005 mg/L.

Estudos realizados em algumas cidades brasileiras, como Vitória (RAMOS, 2007), Piracicaba (SILVA; ARNOSTI JR, 2005), Rio Claro (OLIVEIRA, 2002), Florianópolis (SCHAEFER; ROCHA; CHERIAF, 2007) e Salvador (CARNEIRO *et al.*, 2001), obtiveram resultados similares aos obtidos em Fortaleza, corroborando o trabalho de Lima e Cabral (2013). Com isso, a reutilização desses resíduos, em termos de segurança de manejo do material, se torna viável. O RCC já é amplamente utilizado como agregado reciclado em obras de pavimentação e na construção de casas populares pelo poder público em cidades brasileiras (LIMA; CABRAL, 2013).

Conforme os autores supracitados, analisou-se a solubilidade em água de quatro amostras de resíduos de construção civil extraídos de Fortaleza. Foram encontrados alumínio,

cádmio, chumbo, cromo e sulfato acima do limite permitido pela NBR 10004 (ABNT, 2004), enquanto que os outros parâmetros estão abaixo do limite estabelecido pela norma supracitada.

Trabalhos realizados em Piracicaba (SILVA; ARNOSTI JR, 2005), Salvador (CARNEIRO *et al.*, 2001) e São Paulo (ULSEN *et al.*, 2010) mostraram também teores mais altos em alumínio. Esses altos teores podem ser explicados pelo óxido de alumínio presente do cimento Portland, visto que os teores de argamassa e concreto nos resíduos são significativos. Deve-se ter especial atenção nesse aspecto uma vez que o alumínio pode contaminar a água, oferecendo risco à saúde humana.

No que compete ao cádmio elevado, verifica-se que essa substância é empregada no revestimento dos metais, em algumas tintas e plástico, presentes nos RCC de Fortaleza (LIMA; CABRAL, 2013). Além desses, o chumbo e o cromo também ultrapassaram os limites estabelecidos em norma. Essas substâncias são encontradas em tintas, vernizes e outros materiais de acabamentos que possuem chumbo e cromo na sua composição (SILVA; ARNOSTI JR, 2005). Portanto, deve-se dar um tratamento especial às tintas e materiais de acabamento com a finalidade de não contaminar o solo e mananciais.

Por fim, o sulfato foi a última substância encontrada acima dos limites estabelecidos em norma. Esse é proveniente de resíduos que contenham solos e areias contaminadas com gesso, principalmente (RAMOS, 2007). A presença desse material em RCC também foram observadas no trabalho de Oliveira *et al.* (2011). Para Carneiro *et al.* (2001), ela pode gerar fenômenos expansivos em materiais confeccionados com cimento e agregado reciclado contaminado com gesso, gerando redução de suas propriedades mecânicas.

Com base nesses resultados, Lima e Cabral (2013) classificaram os RCC de Fortaleza como classe II-A, não perigosos e não inertes, assim como ocorreu nos trabalhos de Silva e Arnosti Jr. (2007), Ramos (2007). Mas ressalta-se que, tendo em vista a presença acima do limite de metais pesados, há a necessidade de ensaios sistemáticos e frequentes nos resíduos de construção civil reciclados, de forma a minorar o potencial risco ambiental (LIMA; CABRAL, 2013).

2.2.3 Reciclagem de RCC

Alguns estudos iniciais acerca de reaproveitamento desses resíduos em canteiros de obras foram realizados no início da década de 80, utilizando “maseiras-moinho”, equipamento

de pequeno porte que possibilita a moagem intensa de resíduos menos resistentes para reutilização. Entretanto, essa prática está ainda muito atrasada e ocorre em escala reduzida se comparada a outros países, apesar de a construção civil do país apresentar enorme potencial de ampliação (PINTO, 1999).

Apesar disso, a reciclagem, pode ser realizada no próprio canteiro, utilizando equipamentos móveis, além de ser promovida em instalações permanentes (GOONAN, 2000). Essa abordagem remete à execução dos processos de britagem e peneiramento no próprio local de produção dos resíduos e de utilização do agregado reciclado logo que é processado. Tal prática reduz o consumo de agregados naturais, a destinação em aterros, os custos de transporte, energia e desgaste com estradas e equipamentos. (EVANGELISTA; COSTA; ZANTA, 2010). Apesar de pouco disseminadas, algumas iniciativas de reciclagem em canteiros de obras podem ser identificadas em municípios como São Paulo, Maceió, Brasília, Aracaju e Salvador (EVANGELISTA, 2009).

Estudos realizados por Grigoli (2000) demonstraram que a utilização da reciclagem pelo construtor, de resíduos da própria obra, é economicamente viável e vantajosa, especificamente para o uso de argamassas. Porém Vieira (2005) destaca que se faz necessário analisar resíduos de toda espécie gerados nas obras.

ANVI (1992) *apud* Lima (1999) realizou estudo de viabilidade econômica da aplicação de RCC em argamassas. Foi realizada estimativa de redução de custo com a utilização das argamassas com reciclado em obra de 8.000 m² de área construída e 12.000 m² de paredes. Pelos cálculos da ANVI a redução de custos é de aproximadamente 41%. Os resultados referem-se à cidade de São Paulo/SP, e são válidos para argamassas preparadas com moinhos de rolo de pequeno porte. As argamassas convencionais foram preparadas com betoneira comum. Segundo os autores, a comparação de custos foi feita considerando-se apenas os preços dos materiais (cal, areia e cimento). Não é informado se foi considerado o custo da mão de obra para preparação das argamassas. Também não fica claro se foi considerado o custo de remoção de resíduos da obra, que se incluso na análise pode modificar os resultados favoravelmente à aplicação do reciclado.

2.3 Gestão e gerenciamento do resíduo de construção civil

O conceito de gestão é definido como um conjunto de normas e diretrizes que regulamentem os arranjos institucionais, os instrumentos legais e os mecanismos de financiamento. O gerenciamento, por sua vez, é a realização do que a gestão delibera, por meio de ação administrativa, de controle e planejamento de todas as etapas do processo (SCHALCH; CÓRDOBA, 2011).

O conceito de gerenciamento se refere aos aspectos tecnológicos e operacionais e envolve fatores administrativos, gerenciais, econômicos, ambientais e de desempenho, como a produtividade e a qualidade. É a realização do que a gestão delibera, por meio da ação administrativa de planejamento e controle de todas as etapas do processo, na qual a gestão pode ser definida como atividade relacionada à tomada de decisões estratégicas e à organização do setor para uma determinada finalidade, envolvendo instituições, políticas, instrumentos e meios (LEITE, 1997).

Uma importante ferramenta de gerenciamento sustentável de resíduos em obras consiste na prática dos “3R” (reduzir, reutilizar, reciclar). Yates (2013) complementa, afirmando que este conceito foi aperfeiçoado e expandido e, que, atualmente, são “4R” (reduzir o consumo, reutilizar, recuperar e reciclar).

Além da adoção da prática dos “4R”, tem sido utilizado no gerenciamento dos resíduos das obras o modelo da pirâmide da hierarquia de gestão de resíduos sólidos, sendo esta recomendada em legislações nacionais e internacionais (PASCHOALIN FILHO *et al.*, 2016). Este modelo de gestão prioriza a não geração, o reuso e a reciclagem dos resíduos, em vez de simplesmente efetuar a deposição final destes, conforme Figura 4.

Figura 4 - Pirâmide da hierarquia de gestão de resíduos.



Fonte: Adaptado de Demirbas (2011) e Duarte (2013).

A gestão dos RCC deve seguir os preceitos do Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC) elaborado para o empreendimento e apresentado ao órgão fiscalizador competente (CABRAL; MOREIRA, 2011). Esse plano tem como objetivos (MOURÃO, 2007):

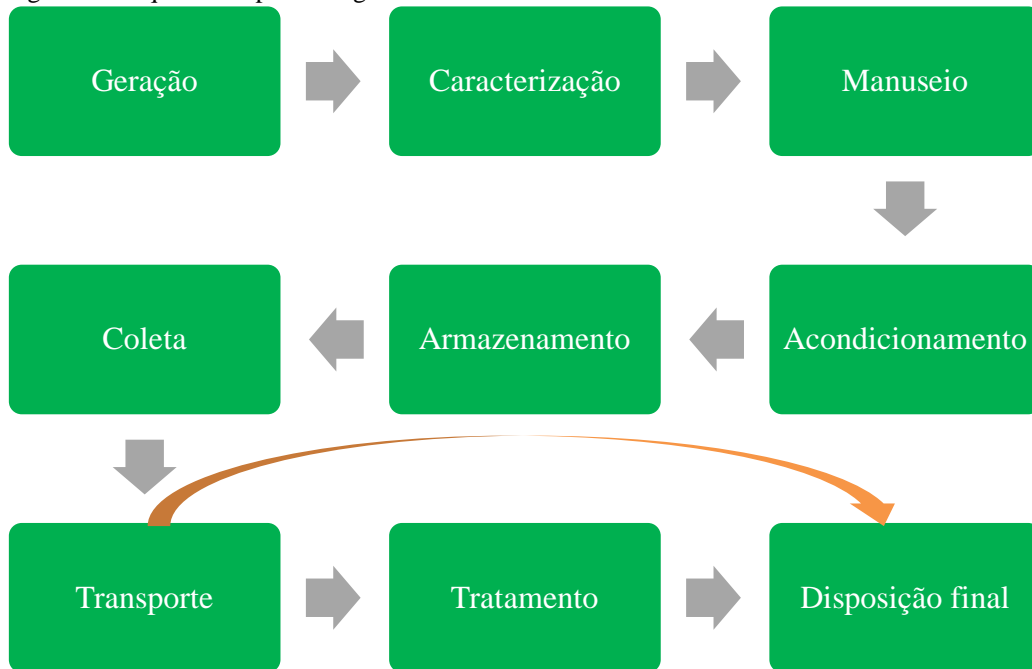
- caracterizar os resíduos produzidos;
- estimar a quantidade de resíduos que serão gerados;
- propor medidas que reduzam a geração dos resíduos;
- reuso e reciclagem de resíduos;
- definir os procedimentos para o correto tratamento dos resíduos gerados.

Novaes e Mourão (2008) propõem um roteiro de gerenciamento de resíduos de construção civil, conforme ilustrado na Figura 5. Esse gerenciamento é formalizado no plano de gerenciamento, sendo esse o documento que define as estratégias que devem ser adotadas pela empresa para minimizar a geração de resíduos, bem como instruir sobre as formas apropriadas para o manuseio desses resíduos. O gerenciamento dos RCC compreende todas as ações operacionais desde a etapa de geração, segregação dos resíduos, até a etapa de disposição final.

O gerenciamento de RCC é definido pela Resolução CONAMA nº 448/2012 como “conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte,

transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos rejeitos, de acordo com plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou com plano de gerenciamento de resíduos sólidos, exigidos na forma da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010” (BRASIL, 2010).

Figura 5 - Esquema do plano de gerenciamento.



Fonte: Adaptado de Novaes e Mourão (2008).

A gestão nos canteiros, segundo Novaes e Mourão (2008), contribui muito para minimizar a geração de resíduos, considerando que:

- a) o canteiro fica mais organizado e mais limpo;
- b) haverá a triagem de resíduos, impedindo sua mistura com insumos;
- c) haverá possibilidade de reaproveitamento de resíduos antes de descartados;
- d) serão quantificados e qualificados os resíduos descartados, possibilitando a identificação de possíveis focos de desperdícios de materiais.

Considerando esses aspectos, é importante que desde a fase de concepção do projeto arquitetônico de uma edificação já sejam tomadas decisões que conduzam a baixas taxas de geração de resíduos (LIMA; LIMA, 2009). Dentre estas, os autores destacam: a escolha de materiais de construção de baixo impacto, sistemas construtivos mais eficientes, controle efetivo das operações, aperfeiçoamento do detalhamento do projeto executivo, etc.

Mália *et al.* (2013) determinaram indicadores que forneceram à indústria da construção civil valores de referência para quantificar o RCC gerado no local para novas

construções, demolições e reformas, voltado para edifícios residenciais e não residenciais na Europa. Estes indicadores podem ser utilizados para planejar ações relacionadas à gestão dos RCC.

Novaes e Mourão (2008) destacam, em se tratando de indicadores de resíduos de construção civil, que no Brasil se produz em média de 100 kg a 300 kg de resíduos por m² de área construída. Mais especificamente em Fortaleza, esse índice, em 2008, foi de 100 kg por m² de área construída. Os autores mostram ainda que, em estudo realizado pelo Sindicato da Construção Civil do Ceará em 100 canteiros de obras em 2008, uma obra gera em torno de 1153,85 m³ de resíduos, o que representa 275 containers de 4,2 m³. Esse resultado se mostra alarmante, sendo imperativa uma melhor gestão dos resíduos nas obras.

Yuan (2013), utilizando a análise SWOT de gestão estratégica, definiu sete estratégias críticas para a gestão do RCC:

- a) estabelecimento de mecanismo para determinar a responsabilidade dos vários departamentos governamentais envolvidos;
- b) implementação de regulamentações detalhadas de gestão de RCC;
- c) investigação de montantes de RCC gerados;
- d) implementação da gestão de RCC ao longo do ciclo de vida dos projetos de construção;
- e) desenvolvimento de programa piloto de aplicação de materiais de construção reciclados;
- f) criação de um instituto de pesquisa de resíduos de construção na cidade;
- g) motivação acerca da gestão de RCC por meio de atividades de treinamento e promoção.

A eficácia de uma gestão de resíduos é dada pela redução da quantidade e do perigo dos resíduos e que para administrá-lo beneficentemente deve-se atentar para os seguintes procedimentos (MANAHAN, 2001):

- a) o primeiro passo, não os produzir;
- b) se produzi-los, reduzir a parcelas mínimas;
- c) procurar meios de recicla-los;
- d) se produzir de forma não reciclável, trata-los de preferência para que não os torne perigosos;
- e) se não for possível torná-los não perigosos, acomodá-los de modo seguro;

f) uma vez acomodados, monitorá-los de modo a não produzir efeitos adversos.

A utilização de ferramentas sustentáveis no gerenciamento dos resíduos produzidos em uma obra proporciona a valoração econômica destes e possibilita ao gestor tornar uma fonte de despesa e impacto ambiental e uma fonte de faturamento, reduzindo os impactos causados e agregando ainda vantagens sociais (PASCHOALIN FILHO *et al.*, 2016).

De acordo com Marcondes e Cardoso (2005), a sistematização dos fluxos de resíduos, bens e produtos descartados apoia-se no conceito de logística reversa na Construção Civil. Os autores continuam comentando que o sistema logístico reverso consiste em uma ferramenta organizacional que possui por objetivo viabilizar técnica e economicamente as cadeias reversas, de forma a contribuir para a promoção da sustentabilidade na cadeia produtiva da construção.

Segundo Ballou (2006), a logística tem como objetivo propiciar ao cliente os níveis de serviço desejados. A meta do nível de serviço logístico é providenciar bens ou serviços corretos, no lugar e no tempo exato, e na condição pretendida ao menor custo possível. Isto é obtido por meio da coordenação adequada das atividades logísticas – transporte, manutenção de estoques, processamento de pedido. Nesse contexto se insere a logística reversa.

A logística reversa é um termo bastante genérico e significa em seu sentido mais amplo, todas as operações relacionadas com a reutilização de produtos e materiais, englobando todas as atividades logísticas de coletar, desmontar e processar produtos e/ou materiais e peças usadas a fim de assegurar uma recuperação sustentável (LEITE, 2009).

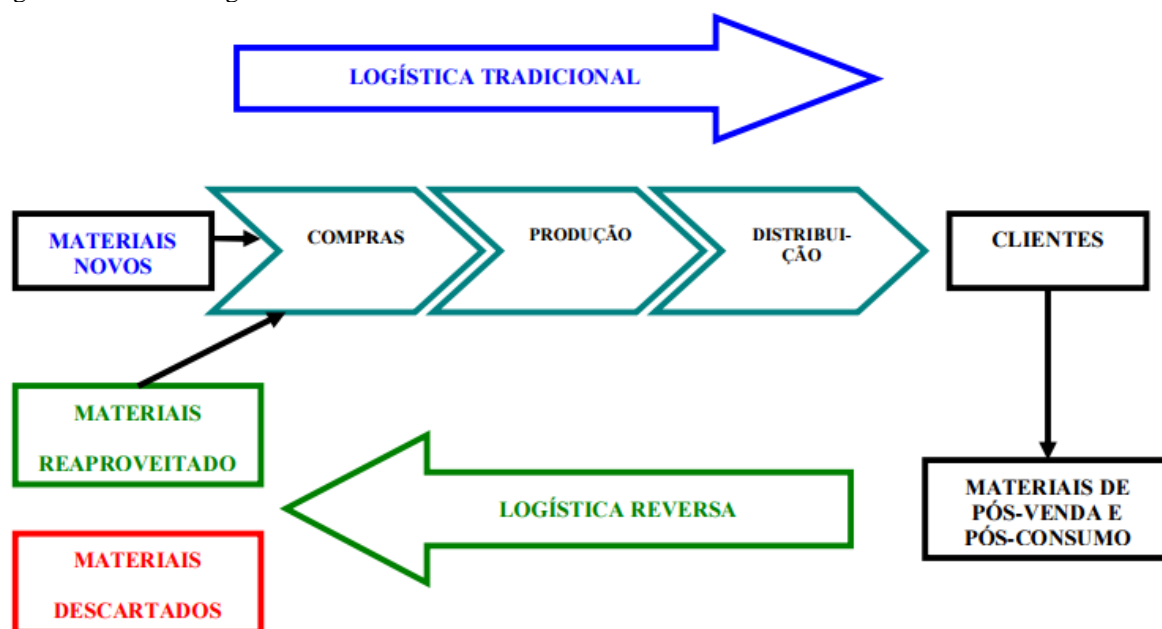
As atividades da logística reversa em cinco funções básicas (SHIBAO; MOORI; SANTOS, 2010):

- a) planejamento, implantação e controle do fluxo de materiais e do fluxo de informações do ponto de consumo ao ponto de origem;
- b) movimentação de produtos na cadeia produtiva, na direção do consumidor para o produtor;
- c) busca de uma melhor utilização de recursos, seja reduzindo o consumo de energia, seja diminuindo a quantidade de materiais empregada, seja reaproveitando, reutilizando ou reciclando resíduos;
- d) recuperação de valor;
- e) segurança na destinação após utilização.

Em termos práticos, os autores destacam que a logística reversa tem como objetivo principal reduzir a poluição do meio ambiente e os desperdícios de insumos, assim como a reutilização e reciclagem de produtos.

A logística reversa pode ser entendida como um processo complementar à logística tradicional, pois enquanto a última tem o papel de levar produtos dos fornecedores até os clientes intermediários ou finais, a logística reversa deve completar o ciclo, trazendo de volta os produtos já utilizados dos diferentes pontos de consumo a sua origem (LACERDA, 2002 *apud* SHIBAO, MOORI e SANTOS 2010). Isso está ilustrado na Figura 6.

Figura 6 - Processo logístico reverso.



Fonte: Rogers e Tibben-Lembke (1998) *apud* Shibao, Moori e Santos (2010).

Acredita-se que a exigência quanto a novos requisitos logísticos, dentre eles os sistemas de logística reversa, por parte dos clientes, sejam eles consumidores finais ou empresas, irá atingir todas as cadeias produtivas, dentre elas a da Construção Civil (MARCONDES; CARDOSO, 2005). Os autores destacam ainda que, ao se prever esta nova necessidade, a cadeia produtiva deve antecipar-se a estas novas exigências e iniciar a estruturação dos sistemas logísticos reversos desde agora, visto que a estruturação e consolidação destes sistemas demandam prazos extensos, devido a sua complexidade.

2.4 Viabilidade da reciclagem de RCC

2.4.1 Definições

Para que se tenha uma decisão fundamentada a respeito da implantação de uma central de reciclagem de RCC, é essencial a realização de uma avaliação técnico-econômica, o que minimizará os riscos de que esta instalação seja subutilizada ou desativada precocemente (NUNES, 2004).

Viabilidade de um empreendimento é a “comparação entre a estimativa de custo do mesmo e os rendimentos que se espera obter por meio da sua comercialização” (GEHBAUER *et al.*, 2002). A viabilidade pode ser abordada sob pontos de vista social e ambiental (GEHBAUER *et al.*, 2002; FERREIRA, 2009). Nesses casos, buscando-se verificar, além do caráter sustentável do projeto, se a sua realização gera emprego, aprimoramento técnico e desenvolvimento tecnológico, promovendo, assim, benefícios sociais.

Casarotto Filho e Kopittke (2010) classificam os critérios da decisão de implantação de um projeto em:

- a) critérios econômicos: a rentabilidade do investimento;
- b) critérios financeiros: a disponibilidade de recursos;
- c) critérios imponderáveis: os fatores que não podem ser convertidos em dinheiro.

2.4.2 Viabilidade econômico-financeira

Enes (2015) conceitua análise de viabilidade econômico-financeira como um estudo que “compara alternativas de investimento de forma a verificar se determinado projeto tem a capacidade de gerar a recuperação do capital (retorno do investimento) e a sua remuneração (retorno sobre o investimento)”.

Ferreira (2009) diferencia os aspectos econômicos e financeiros deste tipo de análise de viabilidade. Para o autor, a avaliação financeira tem caráter quantitativo e busca fornecer subsídios às tomadas de decisões no âmbito da rentabilidade do projeto pela análise do seu fluxo de caixa. Assim, são analisadas as entradas e saídas, relativas a receitas ou faturamentos e custos ou despesas, e apresentado resultados numéricos para a vida útil de projeto.

O mesmo autor afirma que a análise econômica é independente da financeira, apesar de serem complementares, sendo esta de caráter qualitativo e relativa a justificativa do projeto de investimento em determinado ambiente de economia de mercado. Em outras palavras, a análise de viabilidade econômica busca mostrar aos investidores (fornecedores do capital próprio) e financiadores (fornecedores do capital de terceiros) a razão pelo qual aquele projeto se adequa às condições de mercado indicadas na análise.

As propostas de Bordeaux-Rêgo *et al.* (2013), Casarotto Filho e Kopittke (2010) e Prazeres (2016) indicam, de forma coerente, as etapas e os procedimentos para determinar os indicadores mais importantes em uma análise de viabilidade econômico-financeira, conforme descritos a seguir:

- a) taxa mínima de atratividade (TMA): o quanto o investidor quer receber, quanto ele exige de retorno para determinado nível de risco (TREVISAN, 2015). O autor afirma que a TMA deve ser melhor ou igual ao custo de oportunidade, onde custo de oportunidade é aquilo que se abre mão para poder ter alguma coisa. Segundo Prazeres (2016), a TMA pode ser definida também tanto por uma escolha política dos responsáveis pelo negócio ou projeto referente ao investimento, quanto por uma escolha que represente o custo de oportunidade do capital;
- b) valor presente líquido (VPL): é o acúmulo no tempo presente de todos os resultados, atuais e futuros” (BORDEAUX-RÊGO *et al.* 2013). É também denominado de valor atual (de certa quantia numa data futura). Para Vilela (2016), esse é o indicador mais importante em uma análise de viabilidade, que indica com mais precisão se um investimento deve ou não ser feito. Buscando saber se o investimento é atrativo, o indicador VPL é comparado ao valor de referência, igual a zero (Prazeres, 2016). Segundo Ross *et al.* (2015), se o VPL for positivo, então o projeto é viável, pois gera um retorno maior ou igual ao custo de capital investido. Porém, se o VPL for negativo, o projeto deve ser recusado, pois seu retorno é menor do que custo de capital que ele vai demandar. Destaca-se, porém, que, mesmo que o indicador VPL seja positivo, faz-se necessário verificar outros indicadores, além da adequação do projeto ao planejamento estratégico da empresa;

- c) taxa interna de retorno (TIR): é a taxa que obtém um valor presente líquido (VPL) zero para um determinado fluxo de caixa (TREVISAN, 2015). Oliveira (1982) destaca que ela caracteriza a taxa de remuneração do capital investido.
- d) período de retorno (*Payback*): é o tempo que um projeto leva para retornar ao investidor o valor empenhado (TREVISAN, 2015). Existem os *payback* simples e descontado, onde o segundo, por considerar o valor presente e, assim, fornecer resultados mais conservadores, é mais utilizado para análises mais precisas. Contudo, como Trevisan (2015) adverte, é perigoso tomar decisões somente pelo método do *payback*, seja o simples ou o descontado.

2.4.3 Estudos de viabilidade econômica de reciclagem de RCC

A viabilidade econômica de usinas de reciclagem é uma variável altamente regional, dependente de muitos fatores físicos, econômicos e sociais (COELHO; BRITO, 2013b). Resultados diferentes de viabilidade foram relatados (PENG; SCORPIO; KIBERT, 1997; DURAN; LENIHAN; O'REGAN, 2006; NUNES *et al.*, 2007; ZHAO; LEEFTINK; ROTTER, 2010; COELHO; BRITO, 2013b).

No trabalho de Peng, Scorpio e Kibert (1997), realizado nos Estados Unidos, destacou-se a pesquisa de Nahb (1993) que define os passos determinantes para a reciclagem de resíduos fazer sentido em se tratando de aspectos financeiros:

- a) identificação dos materiais recicláveis;
- b) determinação de custos do processo de reciclagem;
- c) desenvolvimento de um plano de gerenciamento de resíduos no canteiro e inclusão desse em contratos;
- d) implementação de plano de gerenciamento de resíduos e treinamento de todos os contratados e funcionários da empresa;
- e) monitoramento e incentivo à participação de contratados e funcionários.

Os autores supracitados estabeleceram mais 7 fatores para o sucesso no negócio de reciclagem de RCC:

- a) boa localização e bom espaço da usina de reciclagem;

- b) equipamento adequado para o tipo de resíduo a ser reciclagem;
- c) experiência em operações de reciclagem de RCC;
- d) equipe e supervisores devidamente treinados;
- e) conhecimento do mercado de materiais secundários;
- f) capacidade de negócio e de finanças da empresa;
- g) conhecimento da legislação ambiental e de segurança.

Na pesquisa de Nunes *et al.* (2007), realizou-se a coleta e análise de dados relacionados à gestão e reciclagem de RCC no contexto brasileiro. A partir disso foi proposto um modelo de condução de estudos de viabilidade para usinas de reciclagem no setor privado, considerando cenário de usina de pequena escala (20 ton/h) e de média escala (100 ton/h). Destaca-se que profissionais do setor no Brasil abordaram que, no setor privado, usinas com processamento de menos de 20 ton/h de RCC provavelmente não são viáveis financeiramente. Além disso, os custos de implementação e operação de usinas de reciclagem com processamento de 50 ton/h são equivalentes aos de uma de 100 ton/h.

Concluiu-se, no estudo supracitado, que, no cenário brasileiro do período, reciclagem de RCC não se mostrou viável para o setor privado. Entretanto, dadas circunstâncias particulares de cada município, usinas de reciclagem no setor público podem ser viáveis economicamente, dependendo da continuidade e da capacidade de produção. Além disso, os autores abordam que para haver viabilidade econômica de usina de reciclagem no setor privado, a ação do poder público mediante impostos e outros subsídios é fundamental.

O estudo de Coelho e Brito (2013b), realizado na área metropolitana de Lisboa, em Portugal, concluiu que o investimento em uma instalação de usina de reciclagem de alto nível e de grande escala tem um alto potencial de lucro, mesmo na ausência de medidas regulatórias específicas que possam ajudar a reciclagem do material ou penalizar o despejo desses materiais em aterros. Eles abordam que a viabilidade econômica de usina de reciclagem é uma variável altamente regional, dependente de muitos fatores físicos, sociais e econômicos, levando a diferentes resultados de viabilidade em vários estudos.

Os autores supracitados destacam ainda que o custo com entulho não tratados representam 80% do custo anual da usina, o que ilustra a necessidade de minimizar a quantidade de material sem tratamento. Entretanto os seguintes fatores podem desencorajar investidores:

- a) elevado investimento inicial;
- b) elevada complexidade técnica de instalação da usina;

- c) necessidade de alto investimento em ativos físicos. Muitos desses ativos são úteis somente para a finalidade para o qual foi projetado, tornando difícil a conversão de uma usina de reciclagem em outro tipo de indústria complexa, demorada e cara.

Na sequência desse estudo, Coelho e Brito (2013a) realizaram estudo de sensibilidade de viabilidade econômica de usina de reciclagem, focando em período de retorno do investimento e balanço econômico global. Destacam-se as seguintes conclusões:

- a) o período de retorno do investimento seria de 8 anos para uma ampla gama de variações de parâmetros. Entretanto devem ser evitadas capacidades de projeto abaixo de 170 toneladas/h para que não se tenha um *payback* maior do que o período supracitado;
- b) à taxa de entrada de RCC deve ser dada prioridade máxima e ser gerenciada com a maior precisão possível (dada as condições específicas do mercado local), uma vez que tem um forte efeito sobre a rentabilidade da usina;
- c) a viabilidade econômica para uma planta de reciclagem de grande escala é provável que ocorra para uma ampla gama de parâmetros econômicos, em condições de mercado aberto puro, ou seja, sem apoio governamental ou legislação específica em favor da reciclagem de RCC;
- d) em condições particularmente adversas de 50% menos entrada RCC, 30% mais de resíduos que necessitam ser separados na instalação, 30% menor taxa de entrada de resíduos e 30% maiores custos de entulho, o investimento em manutenção e conservação torna-se particularmente importante, pois adiar a substituição do equipamento tem consequências financeiras significativas e reduzem o retorno do período de investimento ou aumentam o saldo econômico geral ao longo dos anos;
- e) o resultado econômico favorável demonstrado por este estudo deve estar estritamente relacionado com as condições implícitas, destacando-se a falta de concorrência (apenas uma instalação de grande escala para toda a região) e da suposição de condições estáticas ao longo dos anos (não considerando variações dinâmicas ao longo do tempo).

Nota-se aqui que, diferentemente do abordado anteriormente no caso brasileiro, em Portugal a análise foi feita em uma usina de grande escala, enquanto que no Brasil foi verificado no máximo em média escala. Esse fator se mostrou preponderante na viabilidade econômica.

No trabalho de Zhao, Leefink e Rotter (2010), relativo ao caso de Chongqing, na China, foi feita uma comparação econômica direta entre a implementação de instalações de

reciclagem fixa, estações de processamento móvel e um caso equivalente móvel na Holanda. Conclui-se que:

- a) dois fatores-chave podem contribuir para a viabilidade econômica dos centros de reciclagem: redução do custo causada pela economia de escala de plantas fixas e aumento da receita causada pela vantagem de localização das plantas móveis;
- b) a limitação de margem de lucro é causada pela concorrência com aterros sanitários que possuem regulações de qualidade limitada e concorrência com matérias-primas baratas e materiais secundários, como o carvão. Essas circunstâncias contribuem para a vulnerabilidade financeira das usinas de reciclagem;
- c) o tipo, número e capacidade das usinas de reciclagem serão determinados pelo custo e distância de transporte relacionados, quantidade de geração de resíduos, economia de escala, preço das matérias-primas e taxa de cobrança;
- d) Para minimizar os riscos de investimento para os investidores, os instrumentos econômicos e políticos devem ser previamente estabelecidos para fornecer apoio financeiro aos centros de reciclagem e a um mercado regulamentado de reciclagem como um todo, tais como proibição de destinação desses resíduos em aterros sanitários, normatização de materiais reciclados e aplicação de impostos sobre aterros e agregados naturais;
- e) Para as instalações fixas e para as restrições regionais em vigor no período do estudo, a viabilidade econômica só seria alcançada se o equipamento instalado fosse comprado usado e se economias de escala suficientes fossem possíveis. Essa situação, no entanto, é altamente dependente da demanda esperada de materiais de construção reciclados, principalmente agregados de concreto e cerâmica, mesmo que sua estimativa resultou em quantidades potenciais locais suficientemente altas.

Na pesquisa de Duran, Lenihan e O'Regan (2006), realizado em Dublin e Limerick, na Irlanda, a conclusão foi que a viabilidade econômica de usinas de reciclagem era altamente provável, desde que os custos do entulho não reciclado, incluindo transporte, sejam superiores à taxa de cobrança da usina de reciclagem e o custo por tonelada de uso de agregado natural exceda o de agregados reciclados. Em qualquer dos cenários avaliados, a viabilidade econômica foi significativa, com potenciais de benefícios subindo de 24 a 62 vezes os custos incorridos, ao longo de 5 anos de operação. Ressalta-se que no estudo pressupôs-se que 99% do desperdício recebido no portão das instalações é realmente reciclado. Destaca-se ainda que estes resultados

são válidos para uma operação industrial de mercado aberto puro, o que significa ausência de qualquer tributação sobre o agregado natural ou subsídios para o uso de reciclados.

Em suma, destaca-se a unanimidade nos estudos supracitados em salientar a importância dos principais fatores de sucesso de usinas de reciclagem:

- a) tributação de agregados naturais;
- b) aplicação de multas para casos em que materiais recicláveis que são depositados em aterro, ou mesmo introdução de uma proibição de colocação desses materiais em aterro sanitário;
- c) subsídio de empresas de reciclagem de RCC;
- d) implementação de normas técnicas para materiais reciclados;
- e) promoção de introdução de materiais reciclados no mercado, mediante redução de impostos sobre produtos de construção com conteúdo reciclado.

Portanto, com base nesses trabalhos, observa-se o papel preponderante do poder público como propulsor da viabilização de reciclagem de resíduos.

Em se tratando de reciclagem de resíduo no próprio canteiro, o trabalho de Evangelista (2009) concluiu é viável a reciclagem em canteiros de obras. Todavia, ressalta-se que diversos aspectos devem ser considerados para o sucesso desta prática, a exemplo da correta segregação dos resíduos classe A, da avaliação técnica dos agregados reciclados e da análise de desempenho dos materiais gerados com estes agregados. Constatou-se ainda que a reciclagem em canteiros é passível de ser sistematizada, na forma de etapas e procedimentos, e que esta sistematização contribui para a ampliação dos conhecimentos técnicos e sua implantação nos canteiros de obras.

A autora supracitada revelou ainda diversos fatores facilitadores da reciclagem em canteiros de obras, dos quais destacam-se:

- a) implantação de Programas de Gestão de Resíduos de construção em canteiros de obras promovem a correta segregação e favorecem o reaproveitamento e a reciclagem;
- b) grande variedade de opções de utilização dos agregados reciclados nas próprias obras;
- c) possibilidade de aproveitamento da mão-de-obra ociosa no canteiro para o processo de reciclagem;
- d) alternativa de manejo vantajosa para locais com escassez de áreas para destinação ou com recursos financeiros escassos.

Em se tratando dos fatores que dificultam o processo de implantação da reciclagem nos canteiros, a mesma autora observou:

- a) ausência de políticas públicas que estimulem a utilização do agregado reciclado;
- b) desconhecimento técnico dos construtores e técnicos envolvidos acerca do tema da reciclagem e aplicação de agregados reciclados em materiais de construção;
- c) temor dos construtores na utilização do agregado reciclado em aplicações mais nobres, apesar dos resultados positivos comprovados;
- d) o caráter heterogêneo e a grande variação de composição dos RCC nas suas diversas ocorrências;
- e) falta de planejamento que gere sincronia entre o processo de reciclagem e o andamento da obra, favorecendo a utilização do agregado reciclado nas etapas e serviços em andamento;
- f) falta de definição do responsável pelo processo de reciclagem no canteiro ou a sobreposição de funções deste responsável, que não lhe permite priorizar a reciclagem;
- g) falta de controle tecnológico nas obras e da prática da realização de ensaios de desempenho de produto.

Brum e Duarte (2014) também realizaram estudo análogo com aplicação em contrapiso em edifício da zona leste de São Paulo. Eles concluíram que a utilização dos resíduos reciclados conduziu a um custo 64% inferior à utilização do material natural, uma vez que possibilitou a redução dos custos com aquisição de material natural e transporte.

Porém os mesmos autores destacaram que a reciclagem “*in loco*” dos resíduos, por meio do equipamento de reciclagem considerado no estudo, somente se mostrou viável economicamente a partir de um determinado volume necessário de produção de material reciclado, que, no caso da obra em estudo, situou-se em 75m³. Abaixo deste volume mínimo seria preferível a adoção da solução de aquisição de material natural e destinação total dos resíduos de demolição ao aterro licenciado.

2.5 Características do agregado reciclado

A NBR 15116 (ABNT, 2004) apresenta requisitos específicos para a viabilidade técnica e uso do agregado de RCC reciclados em concreto para fins não estruturais. A Tabela 4 apresenta os requisitos adotados para utilização de RCC em concreto sem função estrutural,

cujo o objetivo é garantir a qualidade do produto final compostos por agregados reciclados através de valores limites.

Tabela 4 – Requisitos para agregado reciclado.

Propriedades		Agregado reciclado classe A				Normas de ensaio	
		ARC ¹		ARM ²		Agregado graúdo	Agregado miúdo
		Graúdo	Miúdo	Graúdo	Miúdo		
Teor de fragmentos à base de cimento e rochas (%)		≥90	-	<90	-	Anexo A	-
Absorção de água (%)		≤7	≤12	≤12	≤17	ABNT NBR NM 53:2009	ABNT NBR NM 30:2001
Contaminantes - teores máximos em relação à massa do agregado reciclado (%)	Cloretos	1				ABNT NBR 9917:2009	
	Sulfatos	1				ABNT NBR 9917:2009	
	Materiais não minerais ¹⁾	2				Anexo A	Anexo B
	Torrões de argila	2				ABNT NBR 7218:2010	
	Teor total máximo de contaminantes	3				-	
Teor de material passante na malha 75 µm (%)		≤10	≤15%	≤10%	≤20%	ABNT NBR NM 46:2003	
¹⁾ Para os efeitos desta Norma, são exemplos de materiais não minerais: madeira, plástico, betume, materiais carbonizados, vidros e vidrados cerâmicos							

¹ ARC - Agregado de resíduo de concreto.

² ARM - Agregado de resíduo misto.

Fonte: NBR 15.116 (ABNT, 2004).

Os agregados reciclados apresentam forma mais irregular e alongada e uma textura superficial mais áspera e porosa que os agregados naturais, além de geralmente apresentarem uma superfície fissurada. Os agregados reciclados apresentam forma mais irregular e alongada e uma textura superficial mais áspera e porosa que os agregados naturais, além de geralmente apresentarem uma superfície fissurada. (RAVINDRARAJAH; TAM, 1987; CARNEIRO *et al.*, 2001; ZAHARIEVA *et al.*, 2003; TU; CHEN; HWANG, 2006).

A absorção de água é uma das características que mais influenciam a utilização dos agregados reciclados, visto que se a absorção não for considerada, além da redução da relação a/c total, haverá uma diminuição substancial da trabalhabilidade do material (NENO, 2010). A NBR 15.116 (ABNT, 2004) recomenda que seja utilizada a pré-molhagem do agregado reciclado com um teor de água de 80% da absorção do mesmo.

Na Tabela A1 do apêndice, são apresentados os resultados obtidos por diversos autores, para o índice de absorção dos agregados provenientes da moagem do RCC e de areia natural. Observa-se que os agregados reciclados tendem a absorver mais água que os agregados convencionais em todos os casos e que a absorção apresenta variabilidade significativa nos estudos. Destaca-se ainda que os agregados reciclados provenientes de argamassa, de concreto e de material cerâmico apresentam, respectivamente, absorções médias de 6%, 7% e 12%. Portanto 1,7; 2,1 e 3,4 vezes maiores do que a da areia natural.

Destaca-se que os agregados compostos essencialmente de cerâmica ou que contém esse material são os que possuem maior absorção de água. A porosidade dos agregados reciclados de cerâmica depende do tipo de argila utilizada na confecção do artefato cerâmico e da temperatura e duração da queima do mesmo (KHALAF; DEVENNY, 2004).

Geralmente os agregados reciclados de concreto possuem absorções de água bem maiores que as dos agregados naturais. Esse aumento da absorção é atribuído à argamassa aderida aos agregados naturais do concreto que foi reciclado, uma vez que a primeira é bem mais porosa que o segundo (RAKSHVIR; BARAI, 2006).

Não existe consenso sobre as diferenças e valores das taxas de absorção de agregados miúdos e graúdos reciclados. Isto ocorre, provavelmente, em função da grande variabilidade da composição e porosidade dos RCC, bem como da forma de britagem dos mesmos. O único consenso é que os agregados miúdos e graúdos reciclados possuem absorções mais elevadas que as dos agregados naturais, e isto deve ser levado em conta na produção de concretos com agregados reciclados. (CABRAL, 2007)

A massa específica do agregado é a relação entre a massa do agregado seco e o seu volume, excluindo-se os poros permeáveis, conforme definido pela NBR NM 52 (ABNT, 2009). A NBR NM 45 (ABNT, 2006) define a massa unitária como a razão entre a massa do agregado lançado em recipiente de acordo com o estabelecido por essa norma e o volume desse recipiente.

A massa específica dos agregados é de grande importância, visto que, em associação com a massa unitária fornece informações a respeito da interação entre as partículas, fator de empacotamento, porosidade e índice de vazios (GIRARDI, 2016).

De maneira geral os agregados reciclados apresentam menores valores de massa específica e unitária (CABRAL, 2007). Para o autor, a redução da massa específica ocorre em função das características das matérias-primas dos mesmos, uma vez que são menos densas que

os agregados naturais. Em se tratando da massa unitária, além da redução da densidade do material e da elevada porosidade características dos agregados reciclados, a forma irregular das partículas dos agregados contribui para a redução da mesma. Todavia essas reduções são dependentes também da granulometria dos agregados reciclados.

Na Tabela A2, apresentada no apêndice, são identificados os valores de massa específica dos agregados produzidos por diversos autores. Observa-se que a massa específica média da areia natural e de agregado reciclado é de 2,62 g/cm³ e de 2,43 g/cm³, respectivamente. A massa unitária média da areia natural e do agregado reciclado são, respectivamente, 1,50 g/cm³ e 1,29 g/cm³. Já o desvio padrão dos dados de massa específica de areia natural e de agregados reciclados são, respectivamente, 0,03 g/cm³ e 0,20 g/cm³, enquanto que os de massa unitária são, respectivamente, 0,14 g/cm³ e 0,16 g/cm³. Nota-se um decréscimo do agregado natural para o reciclado de 7% e 14% para as propriedades de massa específica e de massa unitária o que caracteriza uma maior presença de vazios no agregado reciclado em relação ao natural.

2.6 Características da argamassa com agregado reciclado

2.6.1 Propriedades no estado fresco

A trabalhabilidade é definida pela facilidade de manuseio da argamassa por parte do operário ao realizar a sua aplicação sendo possível verificar a sua compacidade e o seu rendimento (GUACELLI, 2010). Ela é a principal propriedade das argamassas no estado fresco, pois ela está ligada com a facilidade que pode ser misturada, transportada e aplicada sobre diversos substratos, permanecendo de forma homogênea. Essa propriedade também influencia a boa aderência ao substrato e a facilidade de acabamento superficial interferindo assim nas propriedades no estado endurecido (ARAÚJO, 2014).

Destaca-se que a distribuição granulométrica do agregado miúdo, seja natural ou reciclado, interfere na trabalhabilidade, na porosidade da argamassa e no consumo de água e aglomerantes (ANGELIM; ANGELIM; CARASEK, 2003). Neto (2012) explica que a forma lamelar dos grãos dos agregados miúdos produzem argamassas menos trabalháveis que aquelas com o formato regular.

A consistência é a propriedade que permite à argamassa resistir às deformações que lhe são impostas (13-MR/RILEM, 1982 *apud* DIÓGENES, 2016). Ela está relacionada com a quantidade de água influenciando não apenas a relação água/aglomerante, mas também a relação aglomerante/areia, a granulometria da areia e a qualidade do aglomerante (SILVA, 2006).

Para Gomes (2008), a consistência da argamassa pode ser modificada pelo teor de água, forma, textura e granulometria dos agregados. Além desses fatores, Morales (2015) afirma que essa propriedade também é influenciada pelo teor de ar incorporado na argamassa, pelo tipo e pela quantidade de aglomerantes. Girardi (2016), Neno (2010), Pedrozo (2008) e Mendes e Borja (2007) verificaram, em seus estudos, aumento do índice de consistência e do índice de ar incorporado em relação à argamassa de referência, e a redução da densidade em relação ao traço referência.

Destaca-se ainda o trabalho de Ulsen (2011) que demonstrou a possibilidade de melhoria das propriedades das argamassas no estado fresco, reduzindo a porosidade dos agregados reciclados por meio de atrição das partículas, que desagrega a pasta de cimento aderida nos grãos, gerando produtos com distribuição granulométrica e morfologia semelhante à do agregado natural.

2.6.2 Propriedades no estado endurecido

A resistência mecânica das argamassas está relacionada à sua capacidade de resistir a esforços de tração, compressão e cisalhamento, decorrente de cargas estáticas ou dinâmicas atuantes nas edificações. A resistência à compressão é a característica mais comumente determinada para argamassa de assentamento, sendo essa propriedade importante para verificação da uniformidade de produção (NAKAKURA; CINCOTTO, 2004).

A resistência à compressão nas argamassas destinadas a revestimentos e mesmo as de assentamento não é considerado primordial, podendo ser tratada sem maiores preocupações. A execução de ensaios de resistência à compressão pode ser feita com a finalidade de controlar a argamassa produzida, obtendo indiretamente informações de grau de hidratação.

Já a obtenção do ensaio de resistência à tração na flexão em argamassas tem sido utilizada quando se pretende correlacionar diversas propriedades. (MORAIS, 2011). Levy e Helene (1996), Pinto (1986), Alves (2002), Barbosa e Oliveira (2010) e Morais (2011)

constatarem ganho de resistência à compressão e à tração com a utilização de agregados reciclados em argamassa.

A título meramente informativo, as tabelas A4 e A5, do apêndice, apresentam resultados de diversos estudos para as propriedades de resistência à tração na flexão e à compressão aos 28 dias, respectivamente. Observa-se uma variabilidade considerável nesses aspectos, mas, como já ressaltado anteriormente, essas propriedades não são cruciais para argamassa.

Aderência é definida pela NBR 13.528 (ABNT, 2010) como a propriedade do revestimento em resistir a tensões atuantes na interface com o substrato, não sendo uma propriedade da argamassa, mas sim uma interação entre as camadas constituintes do sistema de revestimento que se pretende avaliar. É a principal propriedade em um sistema de revestimento de argamassa, permitindo, por meio da interface argamassa-substrato, absorver e resistir a esforços normais e tangenciais, representa a capacidade do revestimento em se manter estável, com ausência de fissuração e fixo ao substrato (CARASEK, 2010).

A aderência dos revestimentos é altamente variável, sendo influenciado pelas características da argamassa (materiais, reologia, retenção de água, etc.), do substrato (rugosidade, sucção, porosidade e umidade), pela idade do elemento (carbonatação e hidratação do cimento), pelas condições climáticas durante a aplicação, a cura e a vida útil dos revestimentos, e pelas técnicas de aplicação (mão de obra, pressão, ferramentas e equipamentos). (JAPIASSÚ *et al.*, 2014).

Levy e Helene (1996), Morais (2011), Oliveira e Cabral (2011), Neno (2010) observaram o atendimento aos requisitos de resistência à aderência de argamassas com agregado reciclado. Em alguns casos, Morais observou, inclusive incremento da resistência com a utilização de agregado reciclado. Todavia alguns trabalhos apontam exatamente o contrário, destacando-se Morales (2015) e Silva *et al.* (2011).

Na Tabela A5, apresentada no apêndice, são identificados os valores de resistência de aderência à tração de argamassas com e sem resíduos de construção civil produzidos por diversos autores. Observa-se que os valores dos diversos estudos corroboram com a variabilidade ilustrada por Japiassú *et al.* (2014). Além disso, a NBR 13.749 (ABNT, 2013) estabelece os limites mínimos de resistência de aderência à tração para paredes internas e externas em valores maiores que, respectivamente, 0,20 e 0,30. Destaca-se ainda que os teores ótimos de substituição para esse aspecto, na maior parte dos estudos, estão entre 40% e 50%.

A qualidade e a durabilidade de um de uma argamassa estão diretamente ligadas à habilidade de absorver deformações, que são medidas através do módulo de elasticidade (SILVA; CAMPITELI, 2008). Esta propriedade mecânica é de grande interesse, pois está ligada aos fenômenos patológicos dos revestimentos de argamassa, em especial, as fissuras.

A NBR 15630 (ABNT, 2010) prescreve os procedimentos de ensaios para determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica para argamassas de assentamento e revestimento de paredes e tetos. A passagem de uma onda ultrassônica por um sólido baseia-se no princípio da propagação das ondas elásticas, segundo a qual a velocidade de propagação (v) depende das propriedades elásticas do meio e está relacionada com o módulo de elasticidade dinâmico (E_d) segundo a relação $E_d = v^2 \cdot \rho$, onde ρ representa a densidade de massa aparente do sólido (TIPLER; MOSCA, 2000).

O módulo de elasticidade dinâmico (E_d) é determinado utilizando-se a Equação 1, de acordo com a norma NBR 15630 (ABNT, 2010).

$$E_d = \rho \cdot v^2 \cdot \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{1-\nu} \quad (1)$$

Em suma, o módulo de elasticidade é uma expressão da rigidez da argamassa no estado endurecido que é proporcionado pelo cimento hidratado e pela imbricação entre as partículas dos agregados, devido à forma e rugosidades dos grãos, entre outros fatores (SILVA; CAMPITELI, 2008). Destaca-se que a substituição do agregado natural pelo reciclado provoca redução do módulo de elasticidade nas argamassas, tornando-a mais eficiente em termos de fissuração e, simultaneamente, há manutenção dos valores de resistência mecânica (CALCADO, 2015).

Destaca-se ainda que a distribuição granulométrica do agregado miúdo, seja ele natural ou reciclado, exerce influência na fissuração, na rugosidade, na permeabilidade e na resistência de aderência (ANGELIM; ANGELIM; CARASEK, 2003). O desempenho da argamassa está relacionado com a distribuição granulométrica e a forma dos agregados, pois essas condicionam a quantidade e dimensão dos espaços vazios da mesma (CAVACO; VEIGA; GOMES, 2003).

A Tabela A6, do apêndice, ilustra diversos módulos de elasticidade dinâmico encontrados na literatura. Observa-se que a média e o desvio padrão encontrados são de,

respectivamente, 2,0 GPa e 0,6 GPa. Todavia aqui também se verifica uma variabilidade significativa dos dados.

Silva e Campiteli (2006) constataram que a diminuição do teor de cimento nas argamassas contribui para a diminuição de fissuras nos revestimentos argamassados com a incorporação de areia de britagem, assim como nas resistências mecânicas e no módulo de elasticidade. Morales (2015) e Morais (2011) concluíram que a utilização de agregados reciclados em argamassa potencializa fissuração, retrações e retenção de água.

3 METODOLOGIA

3.1 Delineamento e classificação da pesquisa

A pesquisa é descritiva e exploratória, com realização de estudo de caso na construtora em questão. Caracteriza-se como descritiva, pois procura descrever características de certa população e relaciona variáveis por meio de técnicas de coleta de dados. Gil (2007) explica que “há pesquisas que, embora definidas como descritivas a partir de seus objetivos acabam servindo mais para proporcionar uma nova visão do problema, o que as aproxima das pesquisas exploratórias”. Por isso, é também um estudo exploratório porque pretende discutir um assunto sobre o qual há poucas informações.

Quanto à abordagem a pesquisa é qualitativa, visto que a discussão a ser realizada se fez com base nas informações coletadas da construtora, sem a aplicação de técnicas estatísticas que permitissem um tratamento quantitativo dos dados.

Esse estudo foi dividido em quatro etapas: 1) estudo da cadeia de gestão e gerenciamento de RCC da empresa, 2) reciclagem do resíduo classe A, 3) análise de custo, 4) avaliação do uso dos agregados reciclados em obra. Essa metodologia está ilustrada na Figura 7 e será explicada com detalhes nos parágrafos seguintes.

Na primeira etapa, foi realizada primeiramente a caracterização da obra A quanto à geração de resíduos e aquisição de agregados em suas diversas etapas, sendo, portanto, necessária a realização de análise do orçamento, planejamento e das aquisições de insumos nas obras. Posteriormente analisou-se a obra B que ainda estava em execução, visando à verificação de possibilidades de aplicações técnicas do resíduo reciclado na obra.

Em seguida, fez-se uma análise documental na empresa, mediante verificação de documentos de transportadores de resíduos contratados pela empresa, dos planos de gerenciamento de resíduos sólidos das obras e de estudos realizados pela empresa a respeito do tema. Isso visou ao entendimento da quantia de resíduos gerados nas obras, assim como suas classes, e do que já é realizado pela empresa nessa matéria.

Finalizando a primeira etapa, confeccionou-se, com base nas informações obtidas, um mapa de fluxo de RCC e agregados no tempo. Esse mapa visa ao entendimento do processo logístico que envolve a geração, transporte e descarte de resíduos no estado atual. Com isso,

espera-se que haja uma melhor visualização de oportunidades de melhorias do processo construtivo da empresa, além de melhorar a percepção de desperdícios.

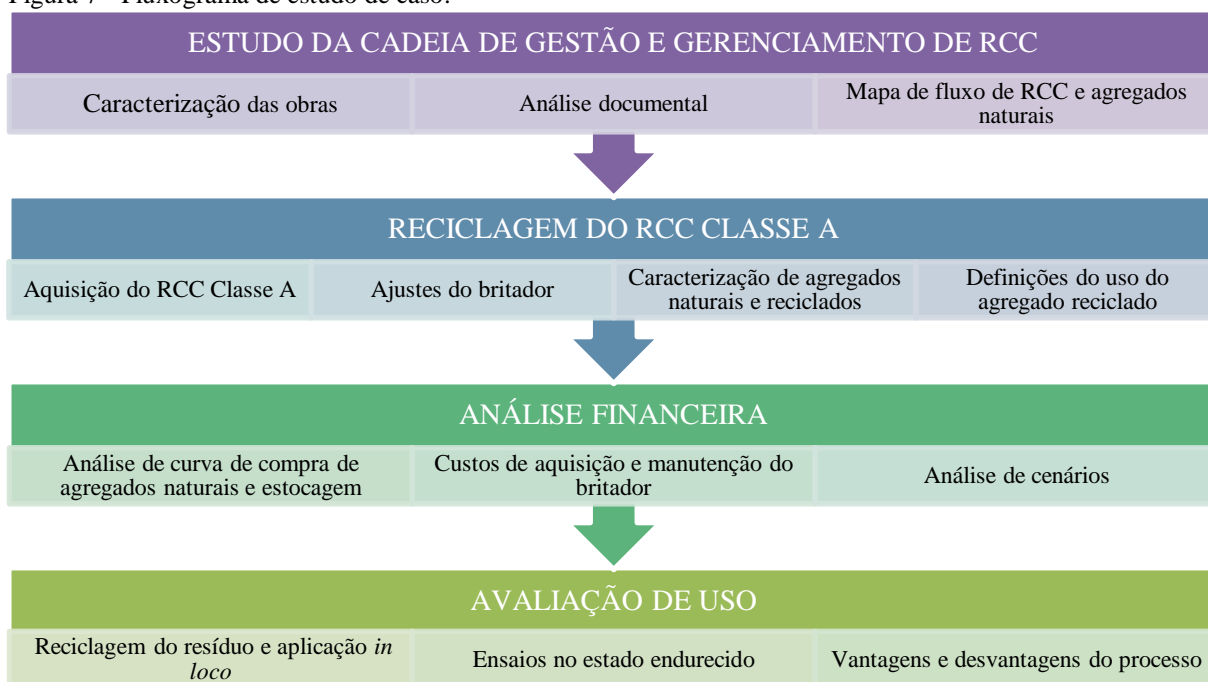
Já na segunda etapa, realizou-se a reciclagem do RCC classe A. Primeiramente, fez-se a estruturação do processo de reciclagem mediante estudo do maquinário necessário para britar os resíduos na própria obra e do processo de recolhimento dos resíduos. Posteriormente definiu-se as aplicações e ajustes do britador para que se faça a britagem dos resíduos, possibilitando as coletas dos materiais necessários.

Em seguida, coletou-se o resíduo classe A de uma obra da construtora e o reciclou. Com isso foi verificada a quantidade de geração de agregados graúdos e miúdos reciclados, além da caracterização de tais agregados. Finalizando a segunda etapa, definiu-se as possíveis aplicações de tais agregados reciclados nas obras, com base tanto na extensa bibliografia sobre o tema, quanto na experiência dos profissionais da construtora. É importante ressaltar que as proporções de agregados reciclados a serem utilizadas estarão baseadas na literatura sobre o tema.

Na terceira etapa, realizou-se a análise financeira do processo de reciclagem no canteiro de obras, envolvendo questões de aquisições de agregados naturais, estocagem de agregados reciclados, aquisição e manutenção de britador e equipes necessárias para operacionalizar o processo de reciclagem na obra. Fez-se a análise de cinco cenários possíveis de processos para verificação do mais eficiente em termos financeiros, os quais estão descritos a seguir.

Na quarta etapa, com todos os parâmetros técnicos e financeiros definidos, realizou-se aplicações de agregados reciclados na obra B, visando o melhor estudo do processo de execução e análise técnica no estado endurecido. Por fim, verificaram-se as vantagens e desvantagens de tal processo, buscando o entendimento de sua viabilização e de oportunidades de melhorias para trabalhos futuros.

Figura 7 - Fluxograma de estudo de caso.



Fonte: Próprio autor (2018).

3.2 Caracterização do ambiente de pesquisa

O ambiente de pesquisa foi constituído por dois edifícios de uma construtora de grande porte. Na obra A, foram realizados todos os estudos de custos referentes à análise de reciclagem de resíduos no próprio canteiro. Já na obra B se processaram todas as avaliações técnicas, considerando aspectos mecânicos, físicos, químicos e processuais, desde a confecção das argamassas com agregados reciclados, sua aplicação e verificação de suas propriedades no estado fresco e endurecido.

A obra A foi entregue em maio de 2017. Já obra B está em fase de execução e possui previsão de entrega para março de 2019. Nas subseções a seguir, caracterizaram-se as duas obras estudadas e os cenários avaliados.

3.2.1 Obras utilizadas no estudo

A obra A construída em terreno de 2.455,78 m², possui aproximadamente 12.253,51 m² de área construída. Esta é constituída de vinte e dois pavimentos-tipo, com dois apartamentos por andar, com áreas privativas de 332,60 m² e 339,12m², além de um pavimento

cobertura, equipado com sala de ginástica, espaço gourmet, hidromassagem, sala de fisioterapia, sauna, ducha e um solarium, um mezanino, um pilotis e dois subsolos.

A obra B construída em terreno de 3.577,12 m², possui aproximadamente 21.627,20 m² de área construída. Sendo constituído de vinte e dois pavimentos-tipo, com seis apartamentos por andar, com áreas privativas de 117,19 m² e 85,07m², além de um pavimento cobertura, equipado com sala de ginástica, espaço gourmet, hidromassagem, sala de fisioterapia, sauna, ducha e um solarium, um mezanino, um pilotis e dois subsolos.

3.2.2 *Análise de cenários*

Foram realizados estudos de quatro cenários possíveis em obras, conforme explicitados a seguir:

- a) Cenário 1 – Sem processo de britagem e de reciclagem de resíduos;
- b) Cenário 2 – Processo britagem de resíduos sem possibilidade de reciclagem dos mesmos no próprio canteiro;
- c) Cenário 3 – Sem processo de britagem e de reciclagem de resíduos e com aquisição de agregados reciclados;
- d) Cenário 4 – Processo de britagem de resíduos sem possibilidade de reciclagem dos mesmos no próprio canteiro e com aquisição de agregados reciclados;
- e) Cenário 5 – Britagem e reciclagem de resíduos no próprio canteiro.

No primeiro caso, foi avaliada a situação padrão de maior parte das obras da empresa, espelhando o cenário de mercado. Aqui observaram-se os processos padrões de geração de resíduos, quantidades de resíduos geradas e custos de sua captação, estocagem e transporte para destinação final.

No segundo cenário, foi estudada a situação do caso anterior, considerando a britagem do resíduo gerado anterior a colocação do mesmo no container para posterior transporte para sua destinação final. O britador utilizado foi o Triturador de Entulho TE2 CSM, ilustrado na Figura 8 e com dados técnicos apresentados na Tabela 8. Com base em dados históricos da empresa, observou-se que se consegue colocar 30% mais de resíduos no mesmo container com esse processo de britagem. Isso foi considerado nesse cenário, além dos custos de aquisição do britador, sua depreciação durante uso na obra e posterior venda do equipamento para outra obra.

Figura 8 – Triturador de entulho TE2 - CSM



Fonte: Próprio autor (2018).

Tabela 5 – Dados técnicos do triturador de entulho TE2 - CSM.

TRITURADOR DE ENTULHO TE2 - CSM	
Produção horária aproximada (m ³ /h)	2
Potência do motor	3 cv IV pólos (WEG)
Tensão trifásica (V)	220/380
Transmissão por correia tipo “V”	A 80
Regulagem de trituração aproximada (cm)	2/5/6/7
Peso (kg)	288
Capacidade de trituração (MPa)	40
Abertura do bocal (mm)	190
Frequência (Hz)	60
Dimensões (CxLxA) (mm)	1560x1035x1200

Fonte: <http://www.csm.ind.br/maquinas/produtos/triturador-de-entulho-te2/>

No terceiro contexto, foi considerado o cenário 1, com a aquisição de agregados reciclados no mercado para substituição de parte de areia em argamassas. Aqui observou-se, portanto, um simples ajuste de compra de agregados miúdos por parte da obra, sem alterar quaisquer processos internos.

Na quarta conjuntura, foram consideradas a realização de britagem anterior à colocação dos mesmos no container para posterior transporte para sua destinação final e à aquisição de agregados reciclados no mercado para substituição de parte de areia em argamassas.

No quinto cenário, por fim, foram analisados a britagem dos resíduos e reciclagem deles no próprio canteiro, por meio de substituição de parte da areia utilizada nas argamassas da obra. O britador utilizado foi o Queixada Q200 RI, ilustrado na Figura 9 e com os dados técnicos na Tabela 6. Foram contemplados custos do britador e sua depreciação durante uso e posterior venda para outra obra, custo de um servente para operar o equipamento e distribuir os agregados reciclados nas baias correspondentes e de transporte e destinação final de resíduos não reciclados.

Figura 9 – Britador Queixada Q200 RI.



Fonte: Próprio autor (2018).

Tabela 6 – Dados técnicos do britador Queixada Q200 RI.

BRITADOR QUEIXADA Q200 RI	
Produção média (Fino + Brita)	1,1 m ³ /h
Altura de descarga dos finos	400 mm
Abertura das mandíbulas ajustável	6 – 16 mm
Largura total	1481 mm
Abertura de entrada das mandíbulas	200 x 170 mm
Comprimento total	2424 mm
Altura da moega de alimentação	1746 mm
Motor elétrico trifásico, blindado, 200/380 v.	3,7 / 5 kW / cv
Altura de descarga da brita	580 mm
Consumo de energia	3,7 kW/h
Peso	951 Kg

Fonte: <http://www.vegedry.com.br/queixada-200p.php>

3.3 Análise técnica

3.3.1 Definições de aplicações

Considerando-se os agregados reciclados extraídos do britador Queixada Q200 RI e a caracterização dos materiais, buscou-se, considerando-se as normas técnicas brasileiras, estudos científicos publicados e os aspectos inerentes a obras residenciais multifamiliares, estabelecer as possíveis aplicações do agregado reciclado em obra.

Verificou-se o potencial significativo de aplicação em argamassa, em virtude do grande consumo de agregados em contrapiso, emboço interno e emboço externo. Mesmo considerando o fato de se ter um grande receio por parte de maior parte dos construtores em aplicação em emboço externo, fez-se essa aplicação para tentar mostrar tal potencial, dirimindo quaisquer questionamentos acerca do assunto. Portanto, essas aplicações foram as escolhidas para o presente estudo. Ressalta-se que não se buscou utilizar em concreto estrutural em virtude de as normas brasileiras vigentes não permitirem tal aplicação.

3.3.2 Ensaios

Para a análise técnica, foram realizados ensaios com agregados, argamassa no estado fresco e no estado endurecido, conforme ilustrado na Tabela 7. Todos seguiram as normas destacadas na tabela supracitada, inclusive a retirada de dados considerados espúrios. A Tabela 8 ilustra os ensaios de argamassa no estado endurecido, considerando a quantidade de corpos-de-prova utilizados.

Os traços utilizados na produção das argamassas foram os mesmos usados pela construtora. As argamassas produzidas foram para contrapiso, emboço interno e emboço externo. Os traços estão apresentados na Tabela 9. Os consumos de material em kg/m³ de argamassa estão apresentados na Tabela 28 do item 4.2.3. Considerou-se, com base no referencial teórico, que o teor ótimo de substituição de areia natural por agregado reciclado para produção de argamassa fica em torno de 40% a 50%. Portanto, realizou-se traços de referência e com teores de substituição de 25% e 50% na análise técnica.

Destaca-se ainda que foi adotada a pré-molhagem do agregado reciclado. A água utilizada na pré-molhagem foi considerada mediante 80% da absorção do agregado reciclado

por um período de 15 minutos anterior à confecção do traço. Isso foi feito para dirimir a retração por secagem em função da reconhecida absorção mais elevada desses agregados reciclados.

Tabela 7 – Ensaios para análise técnica.

Etapa	Ensaio	Fonte	
Caracterização dos materiais	Composição granulométrica	NBR NM 248 (ABNT, 2003)	
	DMC		
	Módulo de finura	NBR 16605 (ABNT, 2017) e NBR NM 52 (ABNT, 2009)	
	Massa específica (g/cm ³)		
	Massa unitária no estado solto (g/cm ³)		NBR NM 45 (ABNT, 2006)
	Absorção		NBR NM 30 (ABNT, 2001)
	Teor de material pulverulento		NBR NM 46 (ABNT, 2003)
	Forma e angularidade dos agregados	AASHTO TP 81 (AASHTO, 2012)	
Argamassa no estado fresco	Inchamento	NBR 6467 (ABNT, 2009)	
	Índice de consistência	NBR 13276 (ABNT, 2016)	
	Teor de ar incorporado	NBR 13278 (ABNT, 2005)	
	Determinação da densidade de massa		
Argamassa no estado endurecido	Densidade de massa aparente no estado endurecido	NBR 13280 (ABNT, 2005)	
	Módulo de elasticidade dinâmico	NBR 15630 (ABNT, 2008)	
	Resistência à tração na flexão	NBR 13279 (ABNT, 2005)	
	Resistência à compressão		
Argamassa de Revestimento	Fissura	-	
	Teste do cachimbo	(CSTC, 1982; RILEM, 1982)	
	Resistência de aderência à tração	NBR 15258 (ABNT, 2005)	

Fonte: Próprio autor (2018).

Tabela 8 – Ensaios de argamassas no estado endurecido.

Ensaio	Idade (dias)	Quantidade de CPs / Traço	Norma
Densidade de massa aparente no estado endurecido	28	3	NBR 13280 (ABNT, 2005)
Módulo de elasticidade dinâmico	28	3	NBR 15630 (ABNT, 2008)
Resistência à tração na flexão	7	3	NBR 13279 (ABNT, 2005)
	28	3	
Resistência à compressão	7	6	NBR 13279 (ABNT, 2005)
	28	6	

Fonte: Próprio autor (2018).

Tabela 9 – Traços das argamassas.

Tipo de argamassa	Traço ¹	Cimento (kg)	Cal (kg)	Arisco (l) ²	Areia natural (l) ³
Contrapiso	1:2,5	50	-	-	225
Emboço interno	1:1,5:2	50	-	135	180
Emboço externo	1:1:3	50	20	-	270

¹ Traços mistos considerando padiola de 90 litros.

² Denomina-se arisco como areia fina rica em materiais argilosos, bastante utilizados no estado do Ceará, também conhecida como saibro.

³ Areia grossa peneirada #4,75 mm.

Fonte: Próprio autor (2018).

Destaca-se que os intervalos de consistências adotados foram definidos com base em testes realizados *in loco* com as argamassas produzidas na obra. Para as argamassas de contrapiso, emboço interno e externo, foram adotados, respectivamente, as consistências de 150 ± 10 mm, 200 ± 10 mm, 270 ± 10 mm.

A técnica de processamento digital de imagem (PDI), conforme destacado na Tabela 7, foi utilizada para a análise de forma e angularidade da areia natural e dos agregados reciclados. O AIMS, equipamento utilizado para a realização dessa técnica, foi desenvolvido para analisar parâmetros de forma de partículas de agregados (forma propriamente dita, angularidade e textura superficial). Ele utiliza um sistema simples de aquisição de imagens. Através de uma câmera microscópica e de dois tipos de iluminação, este é capaz de capturar as imagens dos agregados em diferentes resoluções, e, a partir destas, as propriedades de forma são obtidas. A principal vantagem com relação ao uso desse equipamento é a possibilidade de obtenção de resultados de distribuições de propriedades e não apenas médias de valores, como fornecem ensaios tradicionais. O mesmo está ilustrado na Figura 10.

Figura 10 – AIMS: Visão geral (a) e parte interna do equipamento (b).



Fonte: Próprio autor (2018).

Al Rousan (2004) realizou diversos ensaios em diferentes tipos de agregados, com composições mineralógicas e propriedades de forma, de angularidade e de textura distintas, com o objetivo de desenvolver uma metodologia de classificação dos agregados de acordo com o resultado de cada uma de suas propriedades analisadas. Com isso determinou-se os limites de classificação para os parâmetros obtidos através do AIMS. A Tabela 10 destaca somente os índices de classificação para agregado miúdo, objeto do presente estudo.

Tabela 10 – Limites de classificação AIMS.

Propriedade	Valores-limite / classificação			
Forma 2D	< 6,5	6,5 – 8,0	8,0 – 10,5	> 10,5
	Circular	Semicircular	Semialongado	Alongado
Angularidade	< 2100	2100 – 4000	4000 – 5400	> 5400
	Arredondado	Subarredondado	Subangular	Angular

Fonte: Al Rousan (2004).

Em se tratando de fissuração, a mesma foi avaliada em cada painel sob a luz natural, identificando-se a quantidade, espessura e comprimento das fissuras com auxílio de fissurômetro e barbante para verificação do comprimento de fissura. As medições foram realizadas aos 28 dias nos painéis de 50x50 cm para os traços de contrapiso, emboço interno e externo.

No que compete ao ensaio de permeabilidade, foi realizado pelo método do cachimbo, conforme ilustrado na Figura 11. Preencheu-se a vidraria com água e observou a variação de volume por 15 minutos. Realizaram-se duas determinações por painel, considerando-se o valor médio como a permeabilidade da argamassa observada.

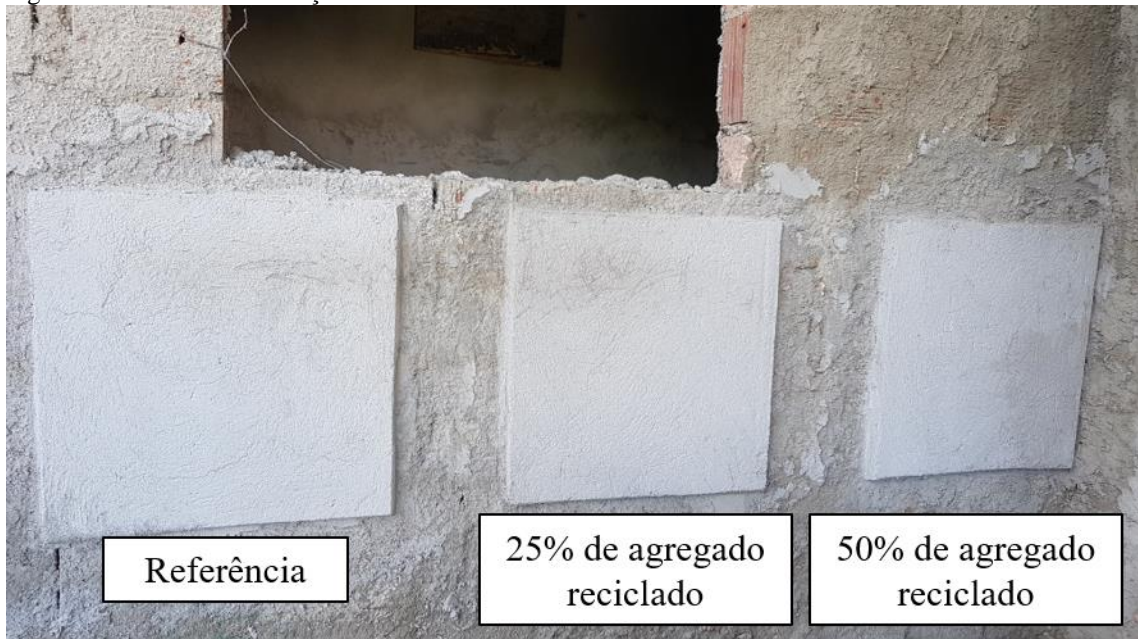
A aderência da argamassa ao substrato foi avaliada pelo ensaio de resistência de aderência à tração, aos 28 dias de idade, em painéis 50x50 para os traços de contrapiso, emboço interno e emboço externo. Os painéis de contrapiso tinham, como substrato, laje de concreto armado, já os painéis dos emboços foram confeccionados sobre alvenaria chapiscada de bloco cerâmico de 14x19x19. O traço misto do chapisco é 1:1,5 com padiola de 90 litros. Para realização desse ensaio foi utilizado o equipamento hidráulico modelo Dinateste, pastilhas de ferro com seção circular de 50 mm de diâmetro. A Figura 12 ilustra os painéis de 50x50 cm de emboço externo.

Figura 11 – Ensaio de permeabilidade em painel do traço de referência.



Fonte: Próprio autor (2018).

Figura 12 – Painéis de emboço externo.



Fonte: Próprio autor (2018).

4 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

4.1 Análise financeira – Obra A

4.1.1 Aspectos gerais

A obra A, local onde se realizou a análise de custos, gerou 1184,4 m³ de resíduos classe A. Considerando-se apenas resíduos de concreto e de argamassa para Fortaleza, conforme Lima e Cabral (2013)¹, extrai-se do britador 445,33 m³ de agregados reciclados desses resíduos. Conforme abordado anteriormente, apenas 67% desse material pode ser aproveitado como agregado miúdo, conseqüentemente 298,37 m³. A geração de agregado reciclado de concreto e argamassa e a compra de areia no tempo estão destacados na Figura 13.

Nota-se, na figura supracitada, que a geração de resíduos Classe A não alcança a metade da areia adquirida na obra, o que retira, para essa obra analisada, o receio de competitividade direta da reciclagem de resíduos com a indústria de agregados. Outro aspecto relevante observado foi a quantidade de resíduo orgânico² gerado. Esse se apresenta com a terceira maior quantidade, sendo imperativo o estudo de reciclagem e reutilização desse tipo de resíduo em trabalhos futuros.

Na Figura 14 tem-se a análise da geração agregado reciclado utilizando o britador Queixada Q200 RI e o consumo de areia nos serviços de contrapiso, emboço interno e emboço externo na obra em relação ao tempo da mesma. Essa avaliação foi feita mediante estudo do planejamento e das composições de custo unitário da obra³. Verifica-se ainda a pouca utilização de areia para emboço interno, uma vez que a obra em questão só utiliza emboço argamassado para poucos serviços, sendo mais disseminado na mesma o reboco de gesso. Mas para o estudo em questão, observa-se a aplicabilidade da substituição em termos de tempo de beneficiamento do resíduo e necessidade de consumo para esse serviço.

¹ Estudo apresentou que o RCC é composto de 93,4% da classe A em Fortaleza-CE, sendo 15,6% do total de resíduos gerados proveniente de concreto e 22% de argamassa. Portanto esse valor foi considerado nos cálculos.

² Considerou-se, conforme adotado pela construtora, como resíduo orgânico a poda de árvore, lixo orgânico, papelão e plástico que são destinados ao aterro sanitário metropolitano oeste de Caucaia.

³ A construtora não permitiu a apresentação nesta dissertação das composições de custos unitárias de cada serviço, uma vez que as mesmas possuem informações estratégicas para a empresa. Porém as mesmas foram consultadas na sede da empresa e os cálculos foram feitos em cima desses parâmetros.

Figura 13 – Análise acumulada de compra de areia e geração de resíduos no tempo.

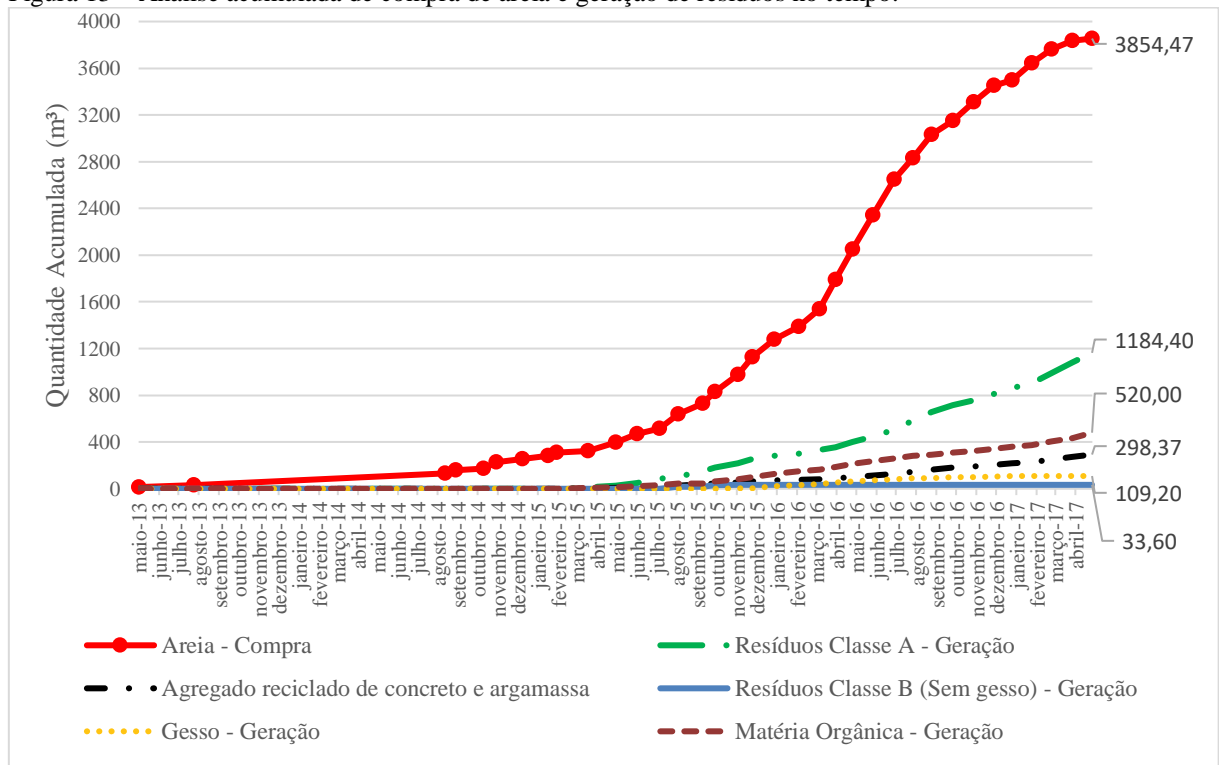
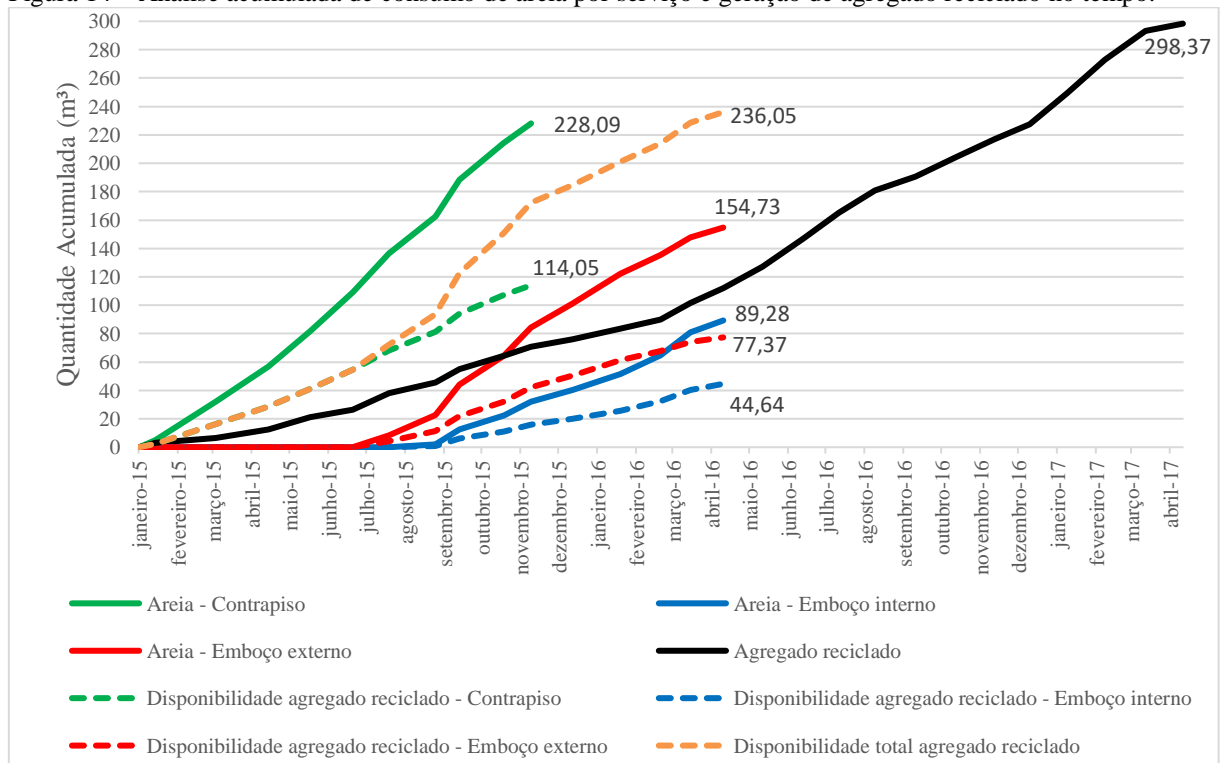


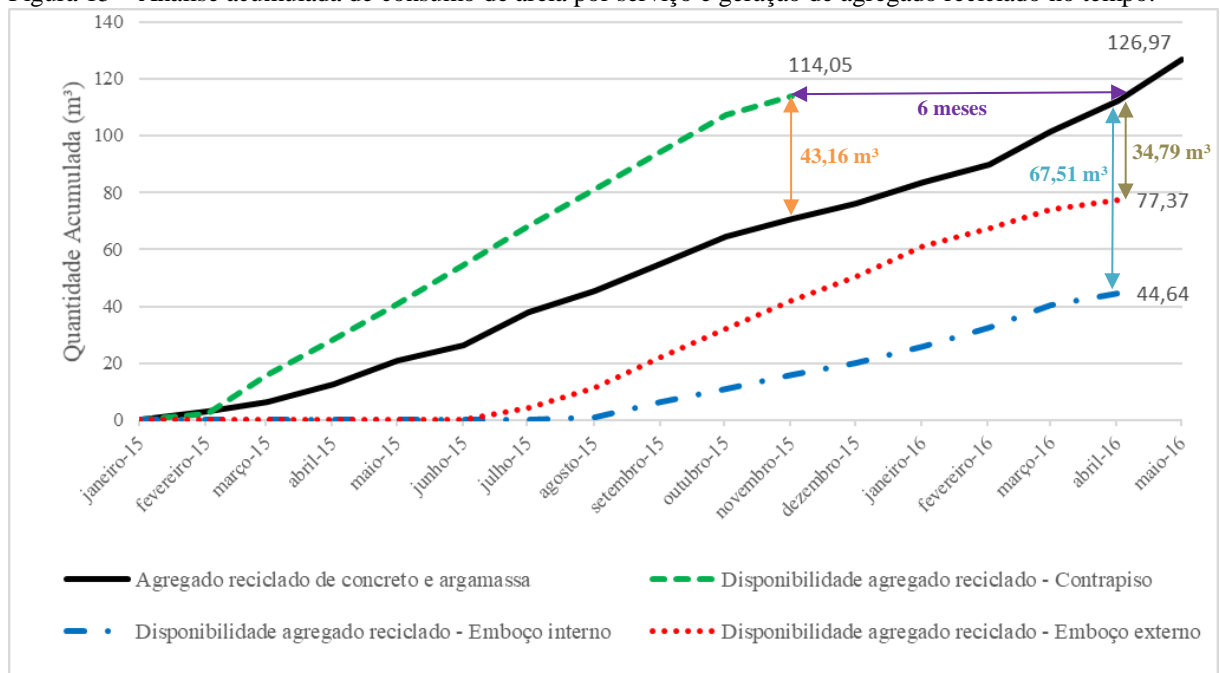
Figura 14 – Análise acumulada de consumo de areia por serviço e geração de agregado reciclado no tempo.



A Figura 15, extraída da imagem anterior, ilustra claramente o descompasso entre a geração de agregado reciclado e o consumo de agregados para os serviços supracitados, principalmente no serviço de contrapiso. Nota-se nesse caso uma diferença de $43,16 \text{ m}^3$ entre a necessidade de contrapiso em novembro de 2015 e o agregado reciclado gerado. Essa quantidade seria alcançada apenas 6 meses após o término desse serviço.

Considerando-se a quantidade de $298,37 \text{ m}^3$ de agregado reciclado gerados, conforme Figura 14, e o consumo total possível de $112,15 \text{ m}^3$ desse material, verificou-se a necessidade de se compor um estoque de $186,22 \text{ m}^3$ de agregados reciclados para utilização em outras obras da empresa, uma vez essa parcela não seria aproveitada diretamente nesses serviços. Pode-se também aproveitar o restante dos agregados reciclados em aterro, porém, avalia-se que a melhor solução seria realmente a venda desses para outras obras da empresa.

Figura 15 – Análise acumulada de consumo de areia por serviço e geração de agregado reciclado no tempo.



Fonte: Próprio autor (2018).

4.1.2 Análise de cenários

No cenário 1, considerou-se a situação padrão, sem processo de reciclagem na obra. Considerando-se os preços unitários atualizados de areia e de transporte de resíduo classe A como, respectivamente, R\$ 37,00/m³ e R\$ 210,00/m³, fez-se a análise dos valores atualizados,

considerando custos unitários vigentes de areia e de transporte de resíduos classe A, conforme o disposto na Tabela 10.

Tabela 11 – Análise de custos do cenário 1.

Item	Quantidade	Unidade	Preço Unitário	Preço Total
Areia natural	472,00	m ³	R\$ 37,00 ¹	R\$ 17.464,00
Transporte de resíduo	282,00	container	R\$ 210,00 ¹	R\$ 59.220,00
TOTAL	-	-	-	R\$ 76.684,00

¹ Valores atualizados e comprados pela construtora no período da análise.

Fonte: Próprio autor (2018).

No cenário 2, foi considerada a utilização do triturador de entulho TE2 – CSM na britagem dos resíduos classe A. Destaca-se que esse equipamento não consegue triturar o suficiente para que o material se enquadre na granulometria de agregado miúdo, portanto o mesmo somente servirá para aumentar a quantidade de material transportado por container. Com base no histórico da empresa, verificou-se que se consegue adicionar 30% a mais de material por container.

Ressalta-se ainda que foram considerados custo de manutenção do equipamento e que o servente que faria a operação de coletar o material, estocar, triturar e dispor no container seria um da própria obra, ou seja, sem acréscimo de custo. A Tabela 11 apresenta o resultado financeiro desse cenário.

Tabela 12 – Análise de custos do cenário 2.

Item	Quantidade	Unidade	Preço Unitário	Preço Total
Areia natural	472,00	m ³	R\$ 37,00 ¹	R\$ 17.464,00
Transporte de resíduo	198,00	container	R\$ 210,00 ¹	R\$ 41.580,00
Triturador de entulho TE2 – CSM (aluguel)	27,00	Mês	R\$ 140,00 ²	R\$ 3.780,00
Manutenção triturador	1,00	Vb.	R\$ 2.000,00 ³	R\$ 2.000,00
TOTAL	-	-	-	R\$ 64.824,00

¹ Valores atualizados e comprados pela construtora no período da análise.

² Valor estipulado considerando-se um *payback* descontado de 10 anos.

³ Valor médio estipulado pela construtora que detém o equipamento.

Fonte: Próprio autor (2018).

Para o cálculo do *payback* descontado do equipamento ilustrado na Tabela 12, considerou-se uma taxa mínima de atratividade de 10,55%. Esse cálculo foi realizado mediante

consideração de taxa Selic projetada de 6,50%, IPCA projetado de 3,95% e taxa de risco de 8,00%. Esse parâmetro fora calculado conforme equação 1:

$$TMA = \text{Selic projetada} - \text{IPCA projetado} + x\% \text{ prêmio de risco} \quad (1)$$

Nota-se que, com tais considerações, a construtora obterá retorno do investimento em 10 anos e 2 meses.

Tabela 13 – Payback descontado de aquisição Triturador de entulho TE2 - CSM.

Ano	Fluxo de caixa	Valor presente (PV)	Saldo
0	-R\$ 10.000,00	-R\$ 10.000,00	-R\$ 10.000,00
1	R\$ 1.680,00	R\$ 1.519,67	-R\$ 8.480,33
2	R\$ 1.680,00	R\$ 1.374,65	-R\$ 7.105,68
3	R\$ 1.680,00	R\$ 1.243,46	-R\$ 5.862,21
4	R\$ 1.680,00	R\$ 1.124,80	-R\$ 4.737,42
5	R\$ 1.680,00	R\$ 1.017,46	-R\$ 3.719,96
6	R\$ 1.680,00	R\$ 920,36	-R\$ 2.799,60
7	R\$ 1.680,00	R\$ 832,53	-R\$ 1.967,08
8	R\$ 1.680,00	R\$ 753,08	-R\$ 1.214,00
9	R\$ 1.680,00	R\$ 681,21	-R\$ 532,79
10	R\$ 1.680,00	R\$ 616,20	R\$ 83,41

Fonte: Próprio autor (2018).

O Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Índice de Lucratividade (IL) foram os indicadores calculados em seguida. Observa-se que o investimento se mostrou viável uma vez que o valor presente líquido foi positivo e igual a R\$ 83,41, a taxa interna de retorno foi de 10,75%, acima da taxa mínima de atratividade, e que o índice de lucratividade foi de 1,02, portanto maior do que 1, conforme discutido no item 2.4.2.

No cenário 3, foi considerado a substituição de 50% de areia em contrapiso, emboço interno e externo por resíduo beneficiado classe A comprado em usina de reciclagem. Aqui não se tem o problema do descompasso entre geração de resíduo e utilização de agregados nos serviços. Isso permite a maior utilização de material residual em substituição de areia. O resultado financeiro está ilustrado na Tabela 13.

Tabela 14 – Análise de custos do cenário 3.

Item	Quantidade	Unidade	Preço Unitário	Preço Total
Areia natural	236,00	m ³	R\$ 37,00 ¹	R\$ 8.732,00
Transporte de resíduo	282,00	container	R\$ 210,00 ¹	R\$ 59.220,00
Agregado reciclado (aquisição)	236,00	m ³	R\$ 20,00 ²	R\$ 4.720,00
TOTAL	-	-	-	R\$ 72.672,00

¹ Valores atualizados e praticados pela construtora no período da análise.

² Valor cotado em usina de reciclagem de Fortaleza-CE.

Fonte: Próprio autor (2018).

No cenário 4, considerou-se a britagem com triturador de entulho TE2 – CSM e aquisição de agregados reciclados de uma usina de reciclagem para substituição de 50% da areia utilizada em contrapiso, emboço interno e externo. O estudo de custo está ilustrado na Tabela 14.

Tabela 15 – Análise de custos do cenário 4.

Item	Quantidade	Unidade	Preço Unitário	Preço Total
Areia natural	236,00	m ³	R\$ 37,00 ¹	R\$ 8.732,00
Transporte de resíduo	198,00	container	R\$ 210,00 ¹	R\$ 41.580,00
Agregado reciclado (aquisição)	236,00	m ³	R\$ 20,00 ²	R\$ 4.720,00
Triturador de entulho TE2 – CSM (aluguel)	27	Mês	R\$ 140,00 ³	R\$ 3.780,00
Manutenção triturador	1	Vb.	R\$ 2.000,00 ⁴	R\$ 2.000,00
TOTAL	-	-	-	R\$ 60.812,00

¹ Valores atualizados e comprados pela construtora no período da análise.

² Valor cotado em usina de reciclagem de Fortaleza-CE.

³ Valor estipulado considerando-se um *payback* descontado de 10 anos.

⁴ Valor médio estipulado pela construtora que detém o equipamento.

Fonte: Próprio autor (2018).

No cenário 5, destaca-se que se considerou a compra do britador Queixada Q200 RI por parte da construtora e que cada obra que se utiliza do equipamento deveria pagar um aluguel do mesmo à construtora e suas despesas de manutenção, sendo, portanto, uma interação entre a sociedade de propósito específico (SPE) que contém a obra e a construtora em si. Esse equipamento está avaliado atualmente em R\$ 40.000,00. Considerando-se o disposto na Figura 31, observa-se a necessidade de aluguel do equipamento por 27 meses. Toda a análise de custos para esse cenário está ilustrada na Tabela 15.

Tabela 16 – Análise de custos do cenário 5.

Item	Quantidade	Unidade	Preço Unitário	Preço Total
Areia natural	360,00 ¹	m ³	R\$ 37,00 ²	R\$ 13.320,00
Transporte de resíduo	179,20 ³	container	R\$ 210,00 ²	R\$ 37.632,00
Britador Queixada Q200 RI (aluguel)	27	Mês	R\$ 560,00 ⁴	R\$ 15.120,00
Manutenção triturador	1	Vb.	R\$ 2.000,00 ⁵	R\$ 2.000,00
TOTAL	-	-	-	R\$ 68.072,00

¹ Quantidade de areia utilizada, subtraindo-se os agregados reciclados gerados pelo britador (472-112). Aqui levou-se em consideração os valores observados na figura 14.

² Valores atualizados e praticados pela construtora no período da análise.

³ Total de resíduo gerado, menos o resíduo reutilizado. Considerou-se também a redução de 30% no volume de resíduos em razão da britagem dos mesmos, conseguindo-se, portanto, colocar mais resíduos por container.

⁴ Valor estipulado considerando-se um *payback* descontado de 10 anos.

⁵ Valor médio estipulado pela construtora que detém o equipamento.

Fonte: Próprio autor (2018).

Para o cálculo do *payback* descontado do equipamento ilustrado na Tabela 16, considerou-se uma taxa mínima de atratividade, taxa Selic projetada, IPCA projetado e taxa de risco iguais aos valores considerados no cenário 2. Nota-se que, com tais considerações, a construtora obterá retorno do investimento em 10 anos e 2 meses.

Tabela 17 – *Payback* descontado de aquisição do britador Queixada Q200 RI.

Ano	Fluxo de caixa	Valor presente (PV)	Saldo Investimento Descontado
0	-R\$ 40.000,00	-R\$ 40.000,00	-R\$ 40.000,00
1	R\$ 6.720,00	R\$ 6.078,70	-R\$ 33.921,30
2	R\$ 6.720,00	R\$ 5.498,60	-R\$ 28.422,71
3	R\$ 6.720,00	R\$ 4.973,85	-R\$ 23.448,85
4	R\$ 6.720,00	R\$ 4.499,19	-R\$ 18.949,66
5	R\$ 6.720,00	R\$ 4.069,82	-R\$ 14.879,84
6	R\$ 6.720,00	R\$ 3.681,43	-R\$ 11.198,41
7	R\$ 6.720,00	R\$ 3.330,11	-R\$ 7.868,30
8	R\$ 6.720,00	R\$ 3.012,31	-R\$ 4.855,99
9	R\$ 6.720,00	R\$ 2.724,84	-R\$ 2.131,16
10	R\$ 6.720,00	R\$ 2.464,80	R\$ 333,64

Fonte: Próprio autor (2018).

O Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Índice de Lucratividade (IL) foram os indicadores calculados em seguida. Observa-se que o investimento se mostrou viável uma vez que o valor presente líquido foi de R\$ 333,64, portanto positivo, a

taxa interna de retorno foi de 10,75%, acima da taxa mínima de atratividade, e que o índice de lucratividade foi de 1,02.

4.1.3 *Análise de custos*

A Figura 16 ilustra o gráfico resumo dos custos totais de cada cenário. Destaca-se que nesse caso considera-se apenas custo de obra. O equipamento, como já discutido anteriormente seria um investimento a ser realizado pela empresa, considerando-se aluguel de tal equipamento conforme necessidade das obras. Nota-se que todos os cenários apresentaram valores próximos, com destaque para o cenário 4, que se mostrou o mais econômico, e para o cenário 1, o que apresentou maior custo, situando-se com 26% acima do menor resultado. Destaca-se ainda que o cenário 5, portanto, o que se consegue beneficiar os resíduos gerados na obra, tem custo 12% acima do observado no cenário 4 e 11% abaixo da situação padrão normalmente observada nas obras que não beneficiam o resíduo e o descartam via transportadora devidamente habilitada.

Esse resultado se mostrou promissor, uma vez que estabeleceu uma notável possibilidade financeira e ambiental de lidar com os resíduos de concreto e argamassa gerados nas obras. Portanto, conforme destacado no item 2.4.3 do referencial teórico, considera-se preponderante a atuação do poder público como força motriz para o incentivo ambiental e econômico para reciclagem dos resíduos no canteiro, destacando-se essa atuação em questões de tributação, aplicação de multas para casos em que materiais recicláveis não sejam depositados em aterros e obrigatoriedade da reciclagem desses, subsídio de empresas de reciclagem, implementação de normas técnicas para esses insumos e promoção dos materiais reciclados no mercado.

Figura 16 – Análise de custos dos cenários.



Fonte: Próprio autor (2018).

4.2 Análise técnica – Obra B

4.2.1 Generalidades

Observando-se o processo de britagem no britador Queixada Q200 RI, infere-se que a geração média de agregados reciclados A1, A2 e A3¹ se dão nas proporções de 38%, 29% e 33% respectivamente. Descartando-se o agregado reciclado A3, em virtude da granulometria, a ser apresentado no item 4.2.2.2, consegue-se aproveitar 67% como agregados miúdos.

Outro ponto a ser ressaltado no processo de britagem seria a incapacidade de britagem de resíduos mais lamelares. Viu-se claramente que em britagem de resíduos provenientes de materiais cerâmicos não eram fragmentados no processo, passando diretamente pelas mandíbulas, não alcançando, portanto, uma granulometria interessante para reutilização como agregado miúdo. Consequentemente, para esse britador, o beneficiamento de resíduos provenientes de cerâmica vermelha não é eficiente, tornando o processo inviável para reciclagem. Pode-se apenas reduzir as dimensões para que se coloque mais material no container para descarte.

¹ Os agregados A1, A2 e A3 estão caracterizados no item 4.2.2.2.

Nos próximos tópicos serão discutidos os aspectos técnicos da reciclagem propriamente dita, desde a caracterização dos materiais, até as propriedades das argamassas no estado fresco e no estado endurecido.

4.2.2 Caracterização dos materiais

4.2.2.1 Aglomerantes

Utilizou-se o cimento Portland POTY tipo CP II-E-32 por ser o cimento adotado pela construtora estudada. Com isso busca-se analisar o comportamento das argamassas com os agregados reciclados com o cimento utilizado pela empresa nas suas obras.

As Tabelas 17 e 18 apresentam, respectivamente, as características químicas e físicas do cimento utilizado. Todos os dados foram fornecidos pelo fabricante.

Tabela 18 – Características químicas do cimento (valores médios).

Composição química do clínquer	Teores	Limite da norma
Óxido de magnésio – MgO	3,30%	6,50%
Trióxido de enxofre - SO ₃	3,27%	4,00%
Resíduo insolúvel - RI	1,96%	16,0%
Perda ao fogo - PF	4,94%	6,50%

Fonte: Votorantim Cimentos (2017).

Tabela 19 – Características físicas e mecânicas do cimento (valores médios).

Ensaio	Resultado	Limite da norma
Massa específica	3,05 g/cm ³	≥ 2,8 e ≤ 3,2 g/cm ³
Área específica (Blaine)	3840 cm ² /g	≥ 2600 cm ² /g
Expansibilidade a quente	0,8 mm	≤ 5,0 mm
Água de pasta de consistência	26,6 %	Não aplicável
Finura	# 200	2,0 %
	# 325	7,5 %
Tempo de pega	Início	181 min
	Fim	235 min
Resistência à compressão	3 dias	25,1 MPa
	7 dias	32,3 MPa
	28 dias	40,4 MPa

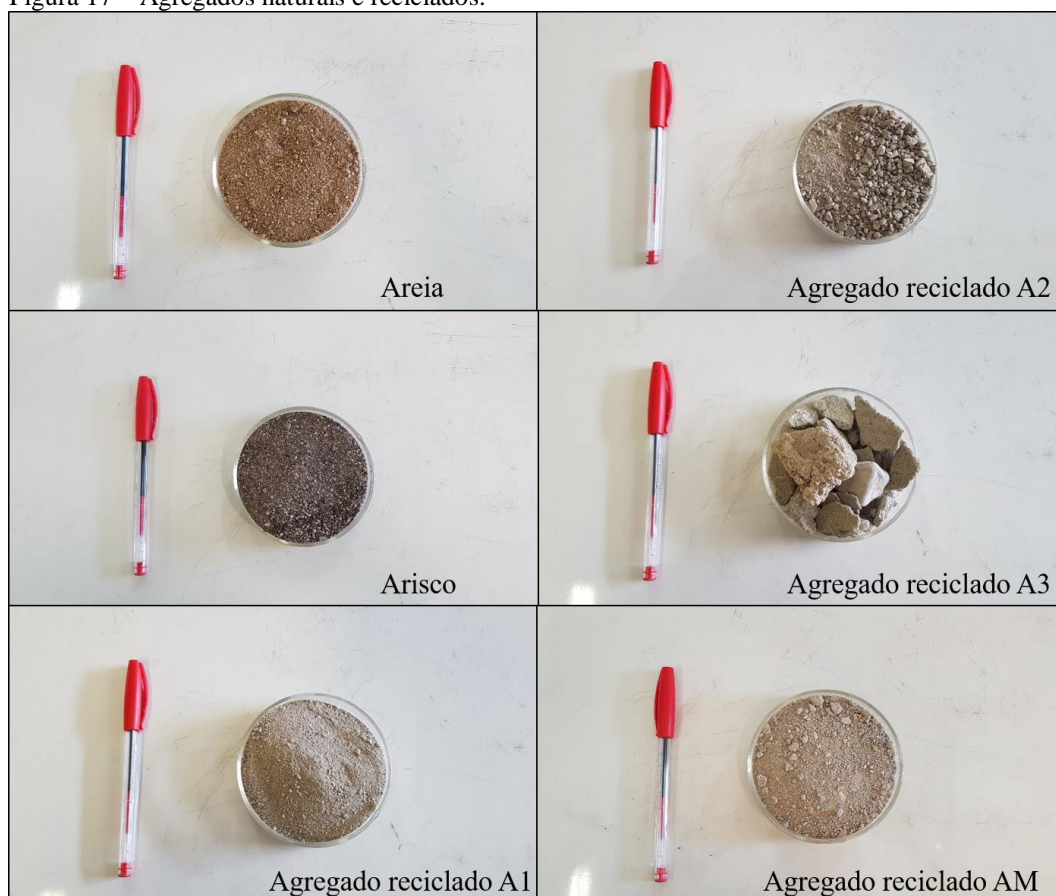
Fonte: Votorantim Cimentos (2017).

No que compete à cal utilizada, a mesma é hidratada do tipo CH-I da marca Extra por esta ser a cal utilizada na empresa. Conforme fabricante, as características dela atendem às prescrições da NBR 7175 (ABNT, 2003). A sua massa específica foi de 2,30 g/cm³.

4.2.2.2 Agregados miúdos naturais e reciclados

Na confecção das argamassas, foram utilizadas areia lavada de rio e agregados reciclados provenientes de resíduos de concreto e argamassa, portanto, classe A, conforme resolução CONAMA 307. A Figura 17 ilustra os agregados naturais e os reciclados extraídos do britador Queixada Q200 RI. Ressalta-se que o agregado reciclado A3 foi descartado em virtude de sua granulometria e que o agregado reciclado AM é a mistura de A1 e A2.

Figura 17 – Agregados naturais e reciclados.



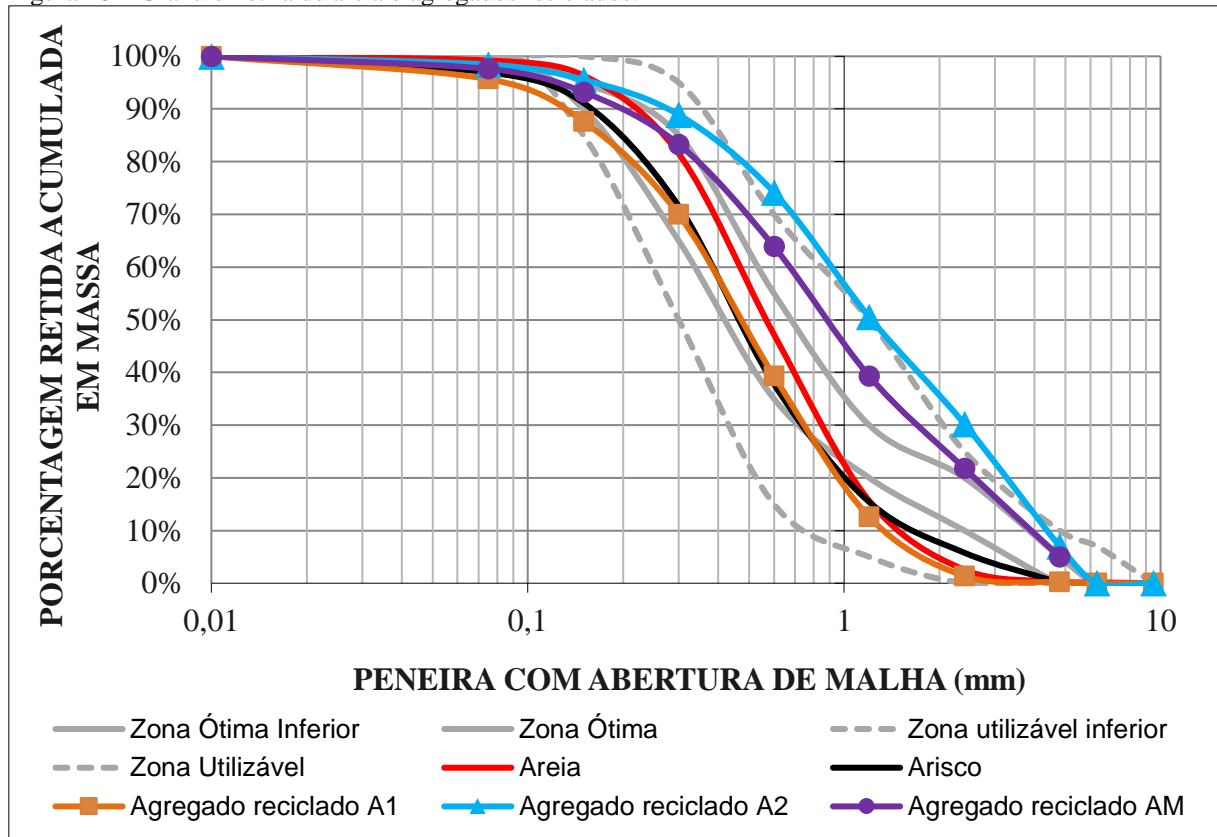
Fonte: Próprio autor (2018).

A Figura 18 e a Tabela 20 apresentam, respectivamente, as curvas granulométricas e as dimensões percentuais principais da areia utilizada pela empresa e dos agregados reciclados

gerados pela britagem de resíduos de concreto e argamassa misturados. É válido ressaltar que, em virtude de os resíduos de cerâmica vermelha serem mais delgados, os mesmos acabavam, em sua maioria não sendo britados corretamente, passando pelas mandíbulas do britador. Portanto, optou-se por trabalhar com resíduos de concreto e argamassa.

Observa-se que os agregados reciclados A1, A2 e AM estão, quase em sua totalidade, dentro da zona utilizável para concreto estabelecida pela NBR 7211 (ABNT, 2009). Embora esses limites sejam para concreto e não para argamassa, servem de parâmetro de análise, uma vez que não há normas brasileiras contemplando tais limites para confecção de argamassa. Destaca-se ainda, conforme ilustrado na Tabela 20, a areia possui granulometria mais próxima do resíduo AM, portanto, adotou-se esse resíduo nas análises de substituição.

Figura 18 – Granulometria de areia e agregados reciclados.



Fonte: Próprio autor (2018).

Tabela 20 – Dimensões em percentuais principais de areias e agregados reciclados.

Material	D10	D50	D90
Areia	1,2 mm	0,3 mm	0,15 mm
Arisco	1,2 mm	0,3 mm	0,15 mm
Agregado reciclado A1	1,2 mm	0,3 mm	0,075 mm
Agregado reciclado A2	2,4 mm	1,2 mm	0,15 mm
Agregado reciclado AM	2,4 mm	0,6 mm	0,15 mm

Fonte: Próprio autor (2018).

A Tabela 21 apresenta a caracterização da areia utilizada pela construtora na confecção de argamassas e dos agregados reciclados A1 e A2. Observa-se que os valores de massa específica, massa unitária e absorção estão em consonância com os estudos apresentados nessa dissertação e que o teor de material pulverulento e a absorção de água estão abaixo dos limites máximos estabelecidos pela NBR 15.116 (ABNT, 2004), a exceção do arisco. Nota-se ainda que o DMC do agregado reciclado A2 foi acima de 4,75 mm, portanto acima do limite para consideração de agregado miúdo, entretanto destaca-se que, na sua curva granulométrica, o percentual retido na peneira supracitada foi de 7%, apenas 2% acima do limite para agregado miúdo.

Tabela 21 – Caracterização de agregados naturais e reciclados.

Parâmetro	Norma técnica	Areia	Arisco	Agregado reciclado A1	Agregado reciclado A2	Agregado reciclado AM
DMC	NBR NM 248 (ABNT, 2003)	2,36	4,75	4,75	6,30	4,75
Módulo de finura	NBR NM 248 (ABNT, 2003)	2,44	2,22	2,11	3,46	3,07
Massa específica (g/cm ³)	NBR NM 52 (ABNT, 2009) e NBR 16605 (ABNT, 2017)	2,60	2,50	2,64	2,64	2,64
Massa unitária no estado solto (g/cm ³)	NBR NM 45 (ABNT, 2006)	1,44	1,38	1,40	1,33	1,36
Absorção	NBR NM 30 (ABNT, 2001)	0,8%	0,8%	7,1%	6,2%	7,2%
Teor de material pulverulento	NBR NM 46 (ABNT, 2003)	2,7%	12,1%	7,5%	4,2%	5,9%

Fonte: Próprio autor (2018).

Foi realizado também a análise por imagem da forma e da angularidade da areia e do resíduo utilizados nos traços. Na Tabela 22 apresenta-se os valores médios observados no ensaio supracitado, enquanto que, nas Tabelas 23 e 24, ilustra-se, respectivamente, a classificação dos agregados supracitados em sua forma 2D e angularidade. Ademais, as Figuras 19, 20, 20, 21, 22, 23 e 24 estabelecem, respectivamente, as imagens, por faixa granulométrica, dos grãos de areia natural e do agregado reciclado, a distribuição, por peneira, de forma 2D e da angularidade dos agregados estudados. Nota-se claramente que os agregados apresentam características similares quanto a esses aspectos, sendo classificados como circulares e semicirculares, na forma, e subarredondado na angularidade.

Para a confecção do traço, foram realizados também os ensaios de inchamento da areia e do arisco, conforme NBR 6467 (ABNT, 2009). Obteve-se para areia e arisco, respectivamente, inchamento médio de 1,41 e 1,55 e umidade crítica de 2,50% e 5,22%. Com isso, fez-se os ajustes de traço para o ensaio de consistência da argamassa.

Tabela 22 – Resultados da caracterização geral dos agregados avaliados.

Propriedade	Agregado	Parâmetro estatístico			
		Média	Número de partículas	Desvio Padrão	CV (%)
Forma 2D	Areia natural	7,48	937	1,99	26,6
	Agregado reciclado AM	7,16	928	1,88	26,3
Angularidade	Areia natural	3003,30	940	1281,30	42,7
	Agregado reciclado AM	3293,80	928	1465,00	44,5

Fonte: Próprio autor (2018).

Tabela 23 – Classificação da forma dos agregados.

Agregado	Concentração (%)			
	Circular	Semicircular	Semialongado	Alongado
Areia natural	34%	33%	27%	6%
Agregado reciclado AM	40%	32%	23%	5%

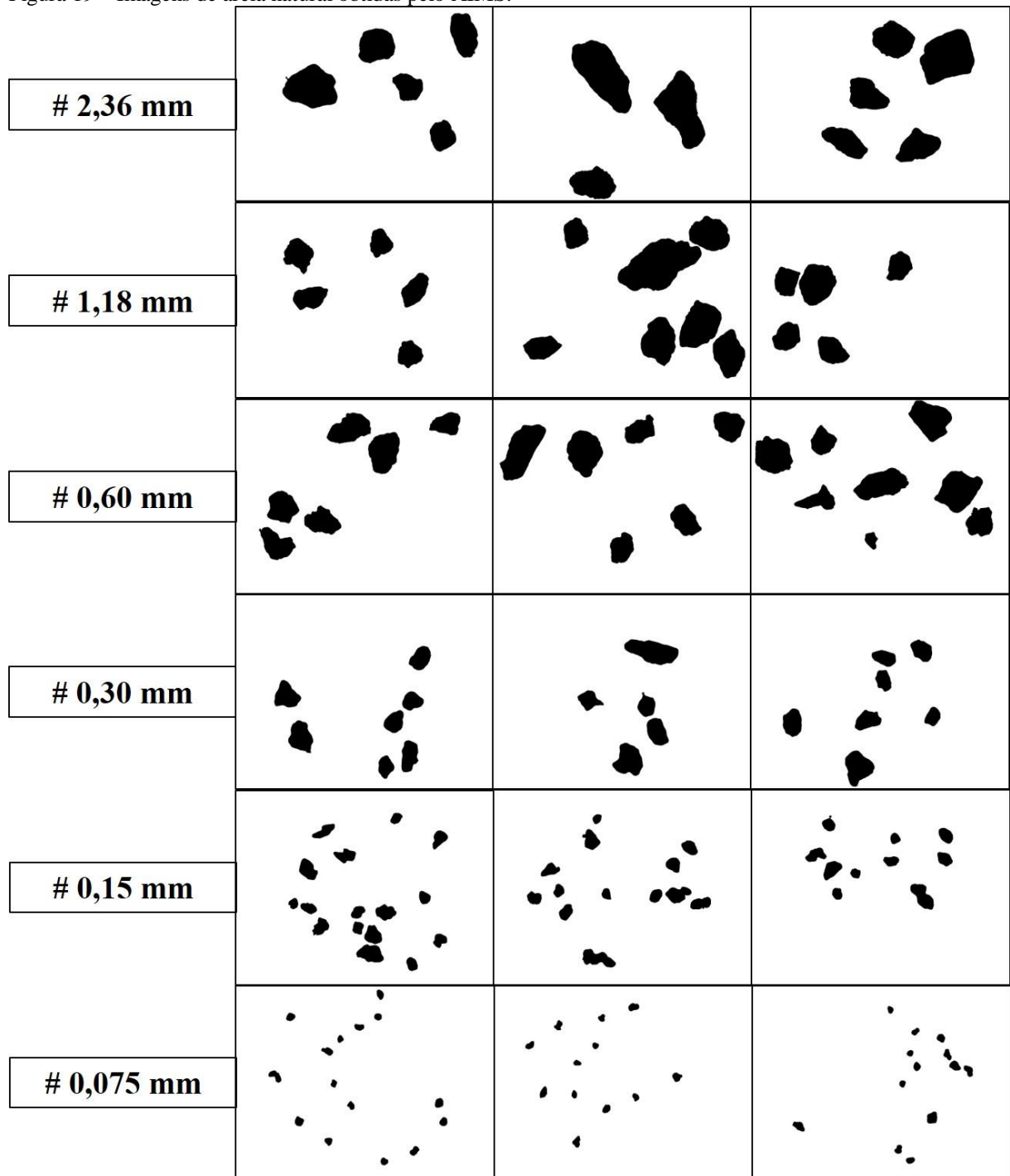
Fonte: Próprio autor (2018).

Tabela 24 – Classificação da angularidade dos agregados.

Agregado	Concentração (%)			
	Arredondado	Subarredondado	Subangular	Angular
Areia natural	18%	56%	19%	7%
Agregado reciclado AM	25%	44%	23%	9%

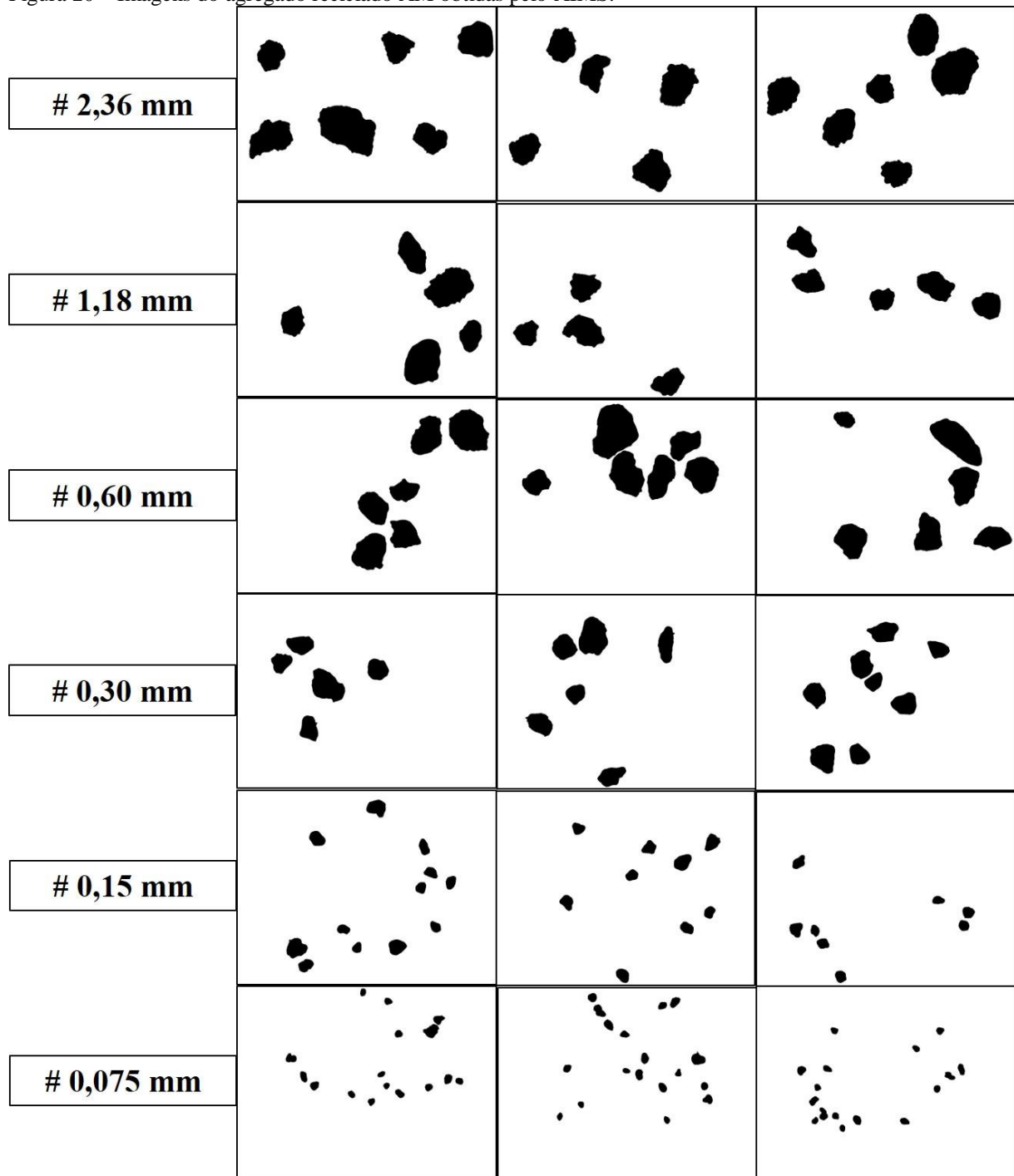
Fonte: Próprio autor (2018).

Figura 19 – Imagens de areia natural obtidas pelo AIMS.



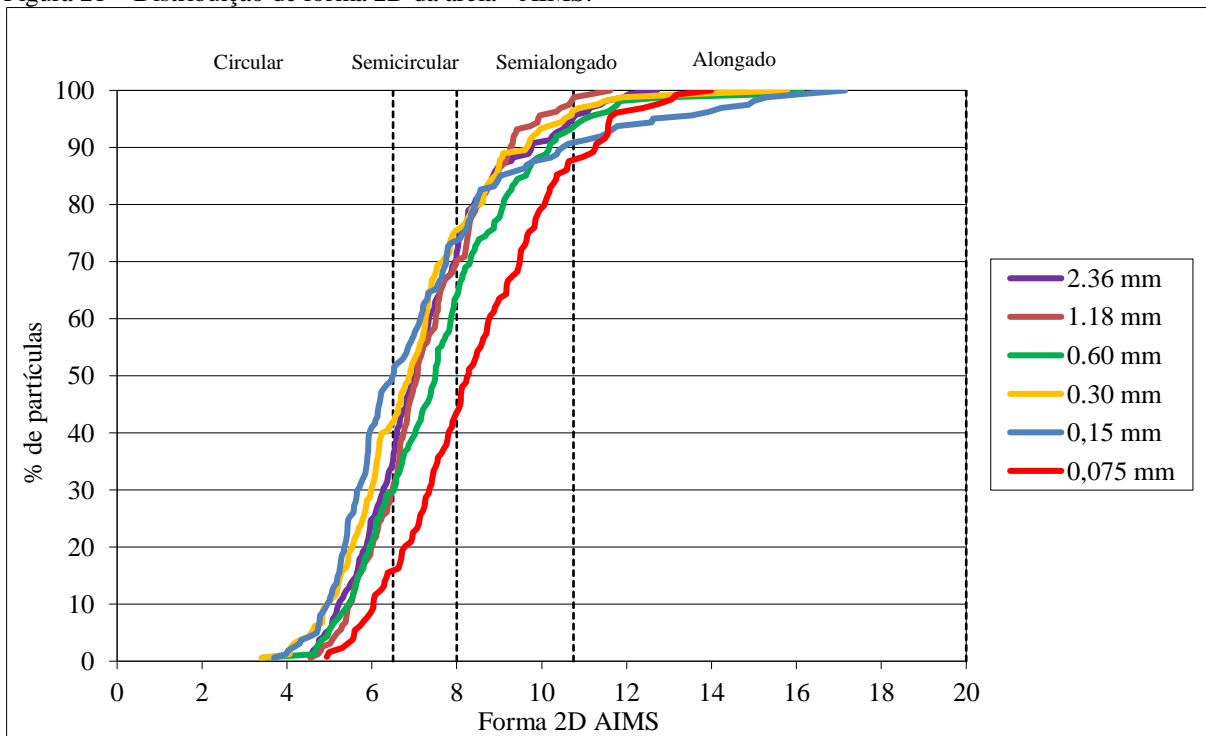
Fonte: Próprio autor (2018).

Figura 20 – Imagens do agregado reciclado AM obtidas pelo AIMS.



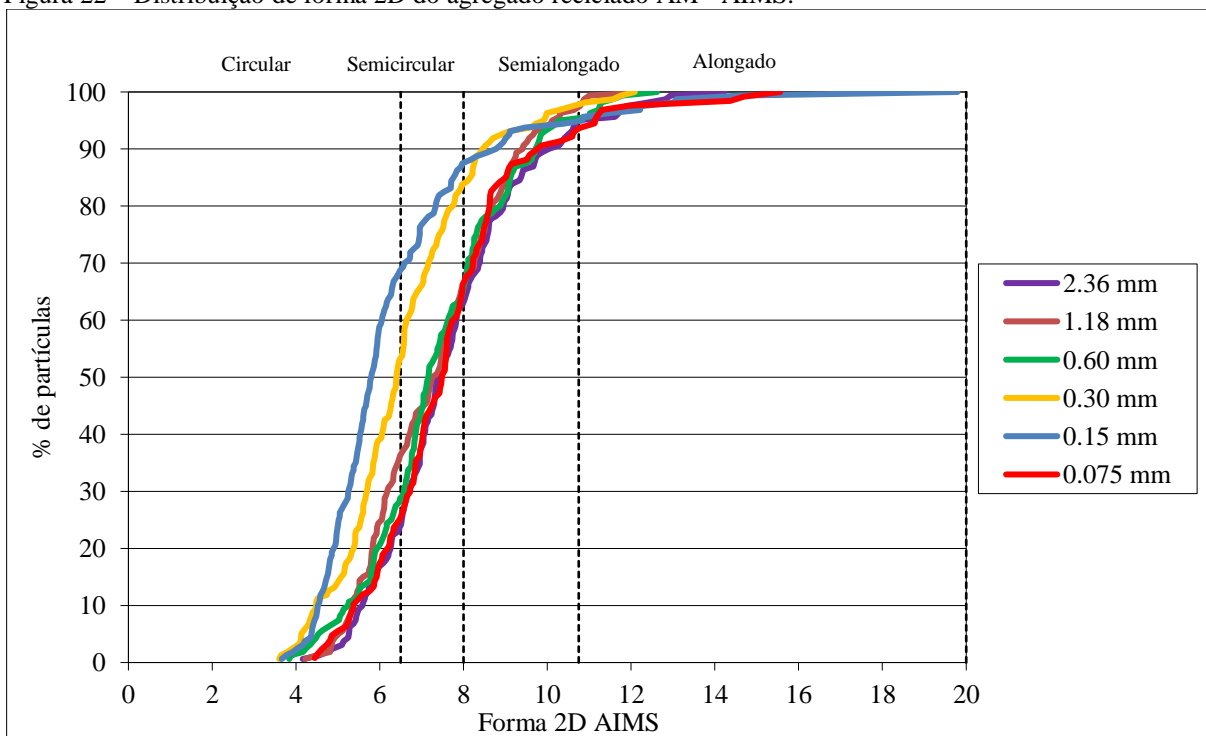
Fonte: Próprio autor (2018).

Figura 21 – Distribuição de forma 2D da areia - AIMS.



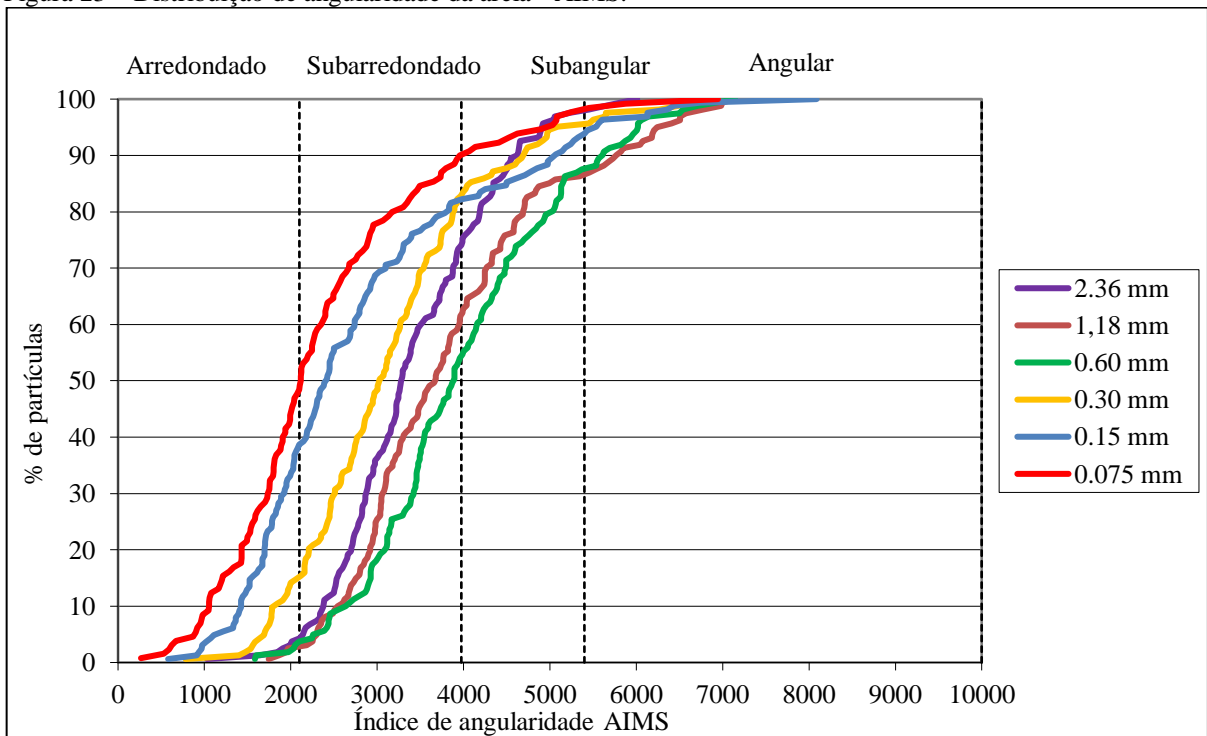
Fonte: Próprio autor (2018).

Figura 22 – Distribuição de forma 2D do agregado reciclado AM - AIMS.



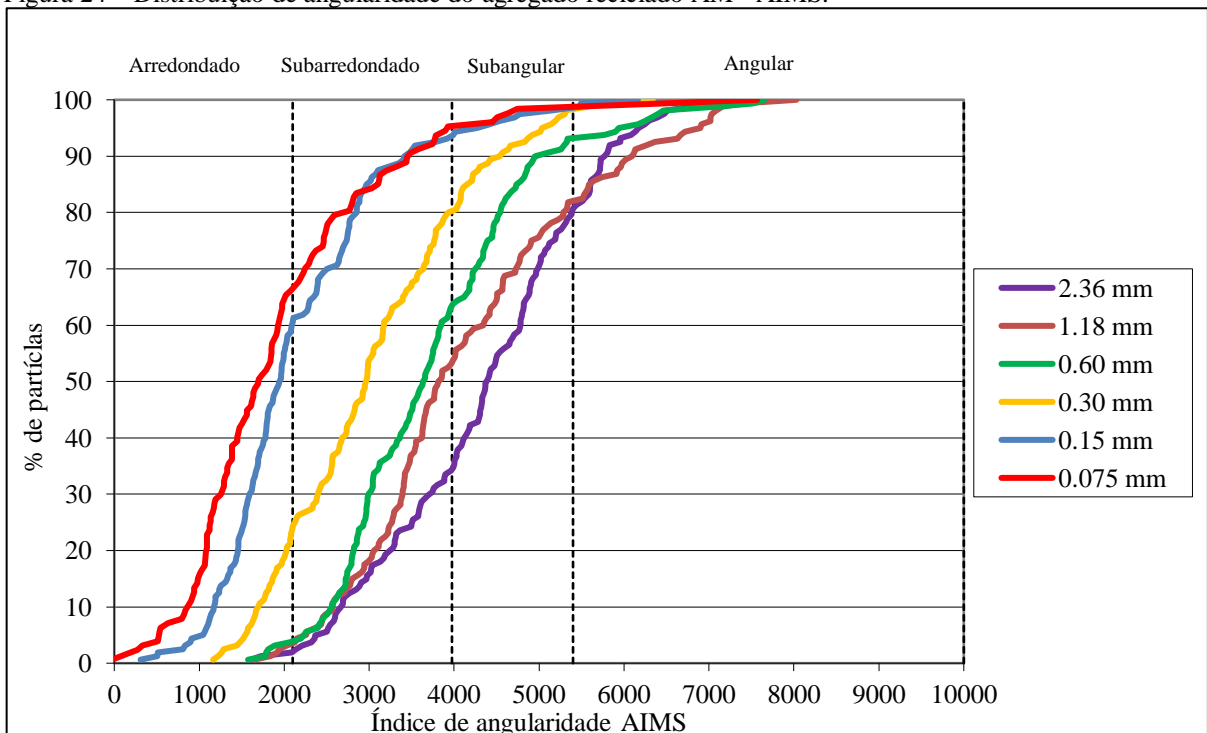
Fonte: Próprio autor (2018).

Figura 23 – Distribuição de angularidade da areia - AIMS.



Fonte: Próprio autor (2018).

Figura 24 – Distribuição de angularidade do agregado reciclado AM - AIMS.



Fonte: Próprio autor (2018).

4.2.3 Propriedades da argamassa no estado fresco

As Tabelas 25 e 26 apresentam, respectivamente, o traço em massa da argamassa, as quantidades de material em kg por m³ de argamassa. A Tabela 27, 28, 29 e a Figura 22 apresentam os resultados das propriedades supracitadas, análise de variância do teor de ar incorporado e de densidade de massa no estado fresco e a distribuição de fases das argamassas.

Tabela 25 – Traço em massa de argamassa.

Tipo de argamassa	Teor de substituição	Cimento	Cal	Arisco	Areia	Agregado reciclado AM	a/c
Contrapiso	Referência	1,00	0,00	0,00	4,60	0,00	0,75
	25% de substituição	1,00	0,00	0,00	3,45	1,17	0,75
	50% de substituição	1,00	0,00	0,00	2,30	2,34	0,80
Emboço interno	Referência	1,00	0,00	2,40	3,68	0,00	1,00
	25% de substituição	1,00	0,00	2,40	2,76	0,93	1,05
	50% de substituição	1,00	0,00	2,40	1,84	1,87	1,10
Emboço externo	Referência	1,00	0,40	0,00	5,52	0,00	1,20
	25% de substituição	1,00	0,40	0,00	4,14	1,40	1,25
	50% de substituição	1,00	0,40	0,00	2,76	2,80	1,30

Fonte: Próprio autor (2018).

Tabela 26 – Quantidade de materiais (em kg) por m³ de argamassa.

Tipo de argamassa	Teor de substituição	Cimento (kg/m ³)	Cal (kg/m ³)	Arisco (kg/m ³)	Areia (kg/m ³)	Agregado reciclado AM (kg/m ³)	Água (kg/m ³)
Contrapiso	Referência	351,18	0,00	0,00	1615,83	0,00	263,39
	25% de substituição	351,18	0,00	0,00	1211,87	410,17	263,39
	50% de substituição	345,12	0,00	0,00	793,97	806,19	276,10
Emboço interno	Referência	269,89	0,00	648,79	993,46	0,00	269,89
	25% de substituição	266,30	0,00	640,15	735,17	248,83	279,62
	50% de substituição	262,80	0,00	631,74	483,67	491,12	289,08

Fonte: Próprio autor (2018).

Continuação da Tabela 26 – Quantidade de materiais (em kg) por m³ de argamassa.

Tipo de argamassa	Teor de substituição	Cimento (kg/m³)	Cal (kg/m³)	Arisco (kg/m³)	Areia (kg/m³)	Agregado reciclado AM (kg/m³)	Água (kg/m³)
Emboço externo	Referência	261,41	104,56	0,00	1443,35	0,00	313,69
	25% de substituição	258,04	103,22	0,00	1068,55	361,66	322,55
	50% de substituição	254,75	101,90	0,00	703,29	714,11	331,19

Fonte: Próprio autor (2018).

Tabela 27 – Propriedades das argamassas no estado fresco.

Tipo de argamassa	Teor de substituição	Consistência (mm)	Teor de ar incorporado (%)	Densidade de massa (g/cm³)
Contrapiso	Referência	156,2	10,03	2,01
	25% de substituição	142,0	13,82	1,93
	50% de substituição	144,3	12,77	1,94
Emboço interno	Referência	200,0	8,32	2,03
	25% de substituição	200,7	6,59	2,03
	50% de substituição	191,7	5,09	2,05
Emboço externo	Referência	268,0	1,73	2,09
	25% de substituição	268,3	4,10	2,03
	50% de substituição	264,7	6,01	1,98

Fonte: Próprio autor (2018).

Tabela 28 – Análise de variância de teor de ar incorporado.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Significância
Teor de substituição	106,3176	2	53,1588	11,64758	0,021476	6,944272	S
Erro	18,25573	4	4,563933				
Total	124,5733	6					

Fonte: Próprio autor (2018).

Tabela 29 – Análise de variância de densidade de massa no estado fresco.

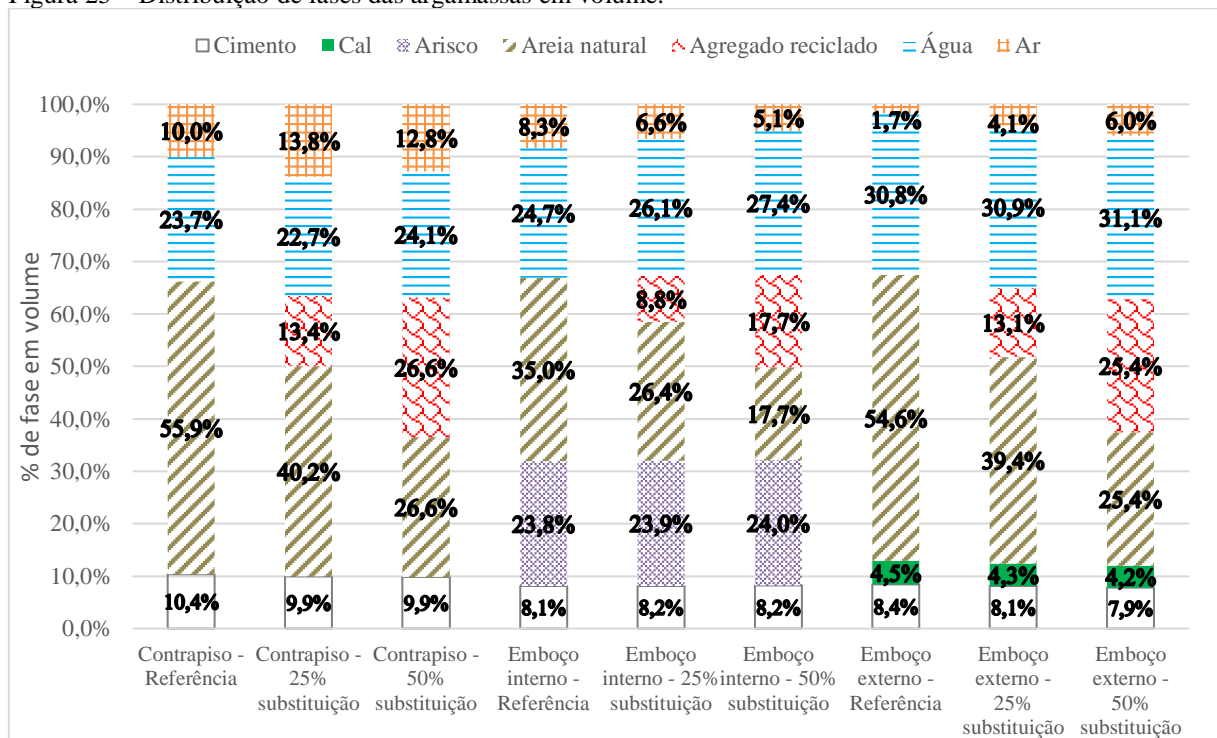
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Significância
Teor de substituição	0,005067	2	0,002533	2	0,25	6,944272	NS
Erro	0,005067	4	0,001267				
Total	0,010134	6					

Fonte: Próprio autor (2018).

Observa-se que, para o teor de ar incorporado, a variação em função do teor de substituição de areia natural por agregado reciclado é significativa. Pandolfo *et al.* (2005), Silva (2006), Sampaio e Bastos (2009), Guacelli (2010), Freitas (2010) destacam que o maior teor de material pulverulento justifica esse fato. Todavia esperava-se uma redução dos valores de teor de ar incorporado com o aumento de agregado reciclado, fato que só foi observado para os traços de emboço interno. Já para densidade de massa no estado fresco, observou-se a não significância para variações do teor de substituição

Conforme Figura 25, verificou-se o acréscimo de água no traço em função da elevação do teor de substituição da areia natural pelo agregado reciclado. Destaca-se ainda, em relação ao teor de ar incorporado, que, para os traços de contrapiso e de emboço externo, houve aumento à medida que se substituíu o agregado natural pelo reciclado. Esse fato foi o oposto do observado para emboço interno.

Figura 25 – Distribuição de fases das argamassas em volume.



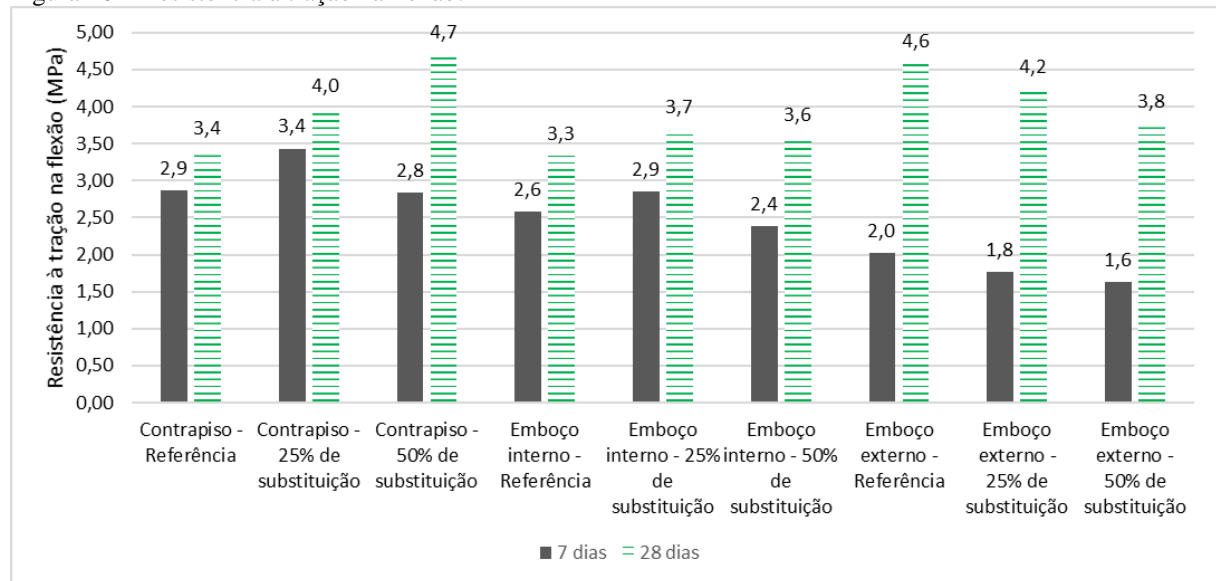
Fonte: Próprio autor (2018).

4.2.4 Propriedades da argamassa no estado endurecido

4.2.4.1 Resistência à tração na flexão

Os resultados de resistência à tração na flexão estão apresentados na Tabela A7 do apêndice, sendo os valores médios mostrados na Figura 26 e a análise de variância na Tabela 30.

Figura 26 – Resistência à tração na flexão.



Fonte: Próprio autor (2018).

Tabela 30 – Análise de variância de resistência à tração na flexão.

Fator	Análise de significância		
	Contrapiso	Emboço interno	Emboço externo
% de substituição (7 dias)	NS	NS	NS
% de substituição (28 dias)	S	NS	NS

Fonte: Próprio autor (2018).

Observou-se a elevação da resistência aos 28 dias com o acréscimo do teor de substituição no traço de contrapiso. Ocorreram aumento de até 38% em relação ao traço referência de contrapiso. Conforme análises de variância para as idades de 7 e 28 dias ilustradas nas Tabelas 30, A8, A9, A10, A11, A12 e A13, estando as seis últimas contidas no apêndice, os dados apresentam significância quanto à variação de teores de substituição para o traço de

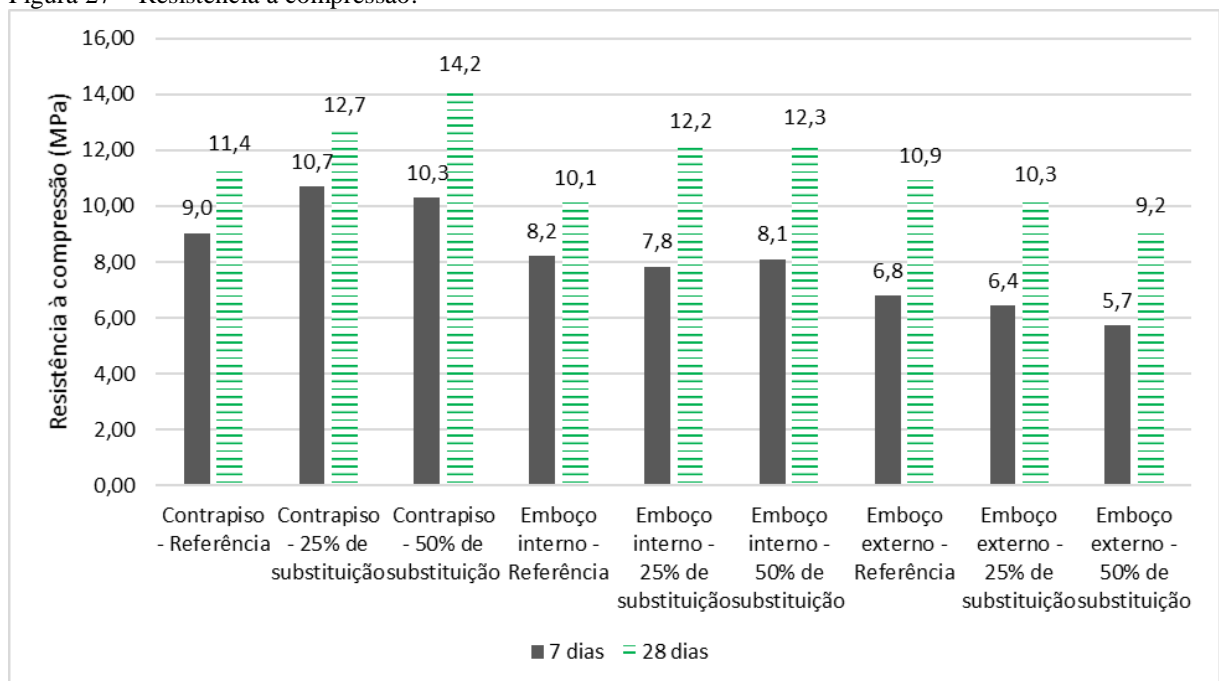
contrapiso para a idade de 28 dias. Portanto a substituição da areia natural por agregado reciclado foi positiva para essa propriedade mecânica.

Destaca-se ainda que, os valores observados nos traços referência são similares aos observados nos estudos de Silva (2014). O acréscimo de resistência à tração na flexão com a substituição de agregado natural por reciclado também foi notado nos estudos de Santana, Araújo e Pereira (2017), Neno (2010) e Silva, Campiteli (2008). Ledesma *et al.* (2014) e Jiménez *et al.* (2013) obtiveram melhor resultado nesse aspecto para as argamassas com até 50% de substituição. Portanto, o presente estudo apresenta-se com resultados similares à literatura.

4.2.4.2 Resistência à compressão

Os resultados de resistência à compressão estão apresentados na Tabela A14 do apêndice, seus valores médios na Figura 27 e o resultado da análise de variância na Tabela 31. As ANOVAs completas encontram-se nas Tabelas A15, A16, A17, A18, A19 e A20, contidas no apêndice.

Figura 27 – Resistência à compressão.



Fonte: Próprio autor (2018).

Tabela 31 – Análise de variância de resistência à compressão.

Fator	Análise de significância		
	Contrapiso	Emboço interno	Emboço externo
% de substituição (7 dias)	S	NS	S
% de substituição (28 dias)	S	S	S

Fonte: Próprio autor (2018).

Conforme dados da Tabela 31, pôde-se observar que apenas o emboço interno na idade de 7 dias não sofreu influência significativa quando se substituiu o agregado natural pelo reciclado. Conforme dados da Figura 27, para o contrapiso, verificou-se que substituir o agregado natural pelo reciclado, em teores de até 50%, aumenta a resistência à compressão, atingindo-se um incremento, nesta propriedade, de 24,6% na idade de 28 dias. Para o emboço interno, conforme Figura 27, este acréscimo na resistência à compressão na idade de 28 dias chegou a 21,8%, para o teor de 50% de substituição. Contudo, este comportamento de aumento da resistência não foi observado para esta propriedade no traço de emboço externo, uma vez que houve reduções, tanto para idade de 7 como de 28 dias, atingindo-se uma redução de 15,6% para essa última idade, no teor de 50% de substituição.

Como já mencionado, a substituição do agregado natural pelo reciclado nas argamassas de contrapiso e emboço interno propiciaram um acréscimo na resistência à compressão. Este acréscimo de resistência pode ter sido resultado de um melhor empacotamento propiciado pela adição do agregado reciclado na mistura, visto que este possui mais que o dobro do teor de material pulverulento do agregado natural. Adicionalmente não se observou grandes incrementos na quantidade de água da mistura para se produzir argamassas de mesma trabalhabilidade que a de referência. Convém ressaltar que os traços de argamassa de contrapiso e emboço interno avaliados têm apenas o cimento como aglomerante.

Para o emboço externo, observou-se decréscimos na resistência à compressão, como já mencionado. Convém destacar que este traço, além do cimento, possui cal como aglomerante, que já é um material fino. Assim esse excesso de finos demandou uma grande quantidade de água para se obter a mesma trabalhabilidade da argamassa de referência, podendo ter influenciado negativamente na resistência à compressão desta argamassa.

O acréscimo de resistência à compressão com a substituição de agregado natural por reciclado também foi notado nos estudos de Santana, Araújo e Pereira (2017), Morales (2015), Silva (2014), Oliveira e Cabral (2011), Morais (2011) e Neno (2010). Analogamente

ao observado para resistência à tração na flexão, Ledesma *et al.* (2014) e Jiménez *et al.* (2013) obtiveram melhor resultado nesse aspecto para as argamassas com até 50% de substituição. Contudo convém destacar que os autores acima citados não fizeram a ANOVA para verificar se os acréscimos encontrados eram estatisticamente significativos.

O efeito de elevação da resistência à compressão com a substituição da areia natural por agregado reciclado era, portanto, esperado. Entretanto, como já explanado, não ocorreu para o emboço externo.

4.2.4.3 Densidade de massa aparente no estado endurecido e módulo de elasticidade dinâmico.

Os resultados de densidade de massa aparente e módulo de elasticidade dinâmico e suas análises de variância estão apresentados nas Tabelas 32, 33 e 34. As ANOVAs completas encontram-se nas Tabelas A21, A22, A23, A24, A25 e A26, contidas no apêndice.

Tabela 32 – Densidade de massa aparente e módulo de elasticidade dinâmico.

Tipo de argamassa	Traço	Densidade de massa aparente (kg/m³)	Módulo de elasticidade dinâmico (GPa)
Contrapiso	Referência	1887,41	16,5
	25% de substituição	1891,81	18,0
	50% de substituição	1822,96	17,9
Emboço interno	Referência	1885,41	13,6
	25% de substituição	1921,91	15,0
	50% de substituição	1913,17	15,3
Emboço externo	Referência	1881,12	14,0
	25% de substituição	1797,45	14,4
	50% de substituição	1823,12	13,4

Fonte: Próprio autor (2018).

Tabela 33 – Análise de variância da densidade de massa aparente no estado endurecido.

Fator	Análise de significância		
	Contrapiso	Emboço interno	Emboço externo
% de substituição	S	NS	NS

Fonte: Próprio autor (2018).

Tabela 34 – Análise de variância do módulo de elasticidade dinâmico.

Fator	Análise de significância		
	Contrapiso	Emboço interno	Emboço externo
% de substituição	S	S	NS

Fonte: Próprio autor (2018).

Conforme Tabela 33, a substituição do agregado natural pelo reciclado trouxe significância apenas para a argamassa de contrapiso, no que diz respeito à propriedade de densidade de massa no estado endurecido, reduzindo-a com substituições de até 50%. Contudo, este resultado não era esperado, uma vez que a massa específica do agregado reciclado (2,64 kg/l) é apenas 1,5% maior que a massa específica da areia natural (2,60 kg/l). Os demais resultados apresentaram coerência com o esperado, não alterando significativamente essa propriedade.

Destaca-se ainda que Girardi (2016), Hawlitschek *et al.* (2013) e Mendes e Borja (2007) observaram em seus estudos que há uma tendência do aumento da densidade com a elevação do teor de substituição do agregado natural por agregado reciclado.

Conforme Tabela 33, para a propriedade de módulo de elasticidade dinâmico, a substituição do agregado natural pelo reciclado trouxe significância para as argamassas de contrapiso e de emboço interno. Verificou-se, para essas argamassas, uma tendência de aumento com a elevação do teor de substituição do agregado natural pelo reciclado, da ordem de 8,5% para o contrapiso e de 12,5% para o emboço interno, ambos com o teor de substituição de 50%. Esse fato é coerente em virtude do comportamento da resistência à compressão observado para essas argamassas na Figura 27 que ilustrou o aumento da resistência mecânica com a elevação do teor de substituição do agregado natural pelo reciclado. Portanto esperava-se já o aumento no módulo de elasticidade dinâmico.

Situação análoga foi observada por Silva e Campiteli (2008). Porém destaca-se que, conforme Helene e Levy (1997), o aumento do teor de substituição de agregado natural por agregado reciclado proveniente de argamassa reduz o módulo de elasticidade dinâmico. Todavia é válido destacar que o agregado reciclado estudado aqui é proveniente de concreto e de argamassa, podendo esse fato explicar a divergência em relação ao trabalho de Helene e Levy (1997).

4.2.5 Propriedades da argamassa de revestimento

4.2.5.1 Fissuração

Os resultados da fissuração nos painéis 50cm x 50cm para cada traço estão apresentados na Tabela 35.

Tabela 35 – Medições de fissuração.

Argamassa	Fissuração (m/m ²)	Espessura de fissuras (mm)	
		Menor	Maior
Contrapiso – Referência	0,05	0,30	0,40
Contrapiso – 25% de substituição	0,05	0,10	0,10
Contrapiso – 50% de substituição	0,05	0,10	0,10
Emboço interno – Referência	0,62	0,40	0,50
Emboço interno – 25% de substituição	0,22	0,10	0,30
Emboço interno – 50% de substituição	0,04	0,10	0,10
Emboço externo – Referência	1,74	0,30	0,40
Emboço externo – 25% de substituição	0,26	0,10	0,10
Emboço externo – 50% de substituição	0,63	0,10	0,10

Fonte: Próprio autor (2018).

Nota-se que os traços referência de emboço interno e externo possuem as maiores fissurações, enquanto que os traços com substituição de areia natural por agregado reciclado apresentaram menores fissurações. Para contrapiso, emboço interno e emboço externo observaram-se reduções de, respectivamente 75%, 80% e 75% para o teor de 50% de substituição.

Angelim, Angelim e Carasek (2003) destacam que a maior presença de finos acarreta na elevação da fissuração. No entanto, esta influência do teor de finos total varia de acordo com a natureza mineralógica da adição. Além disso, a relação água/cimento é importante para o grau de fissuração. Quanto maior essa relação, mais elevada será a probabilidade de se observar fissuração (GIRARDI, 2016), fato não observado nesse estudo.

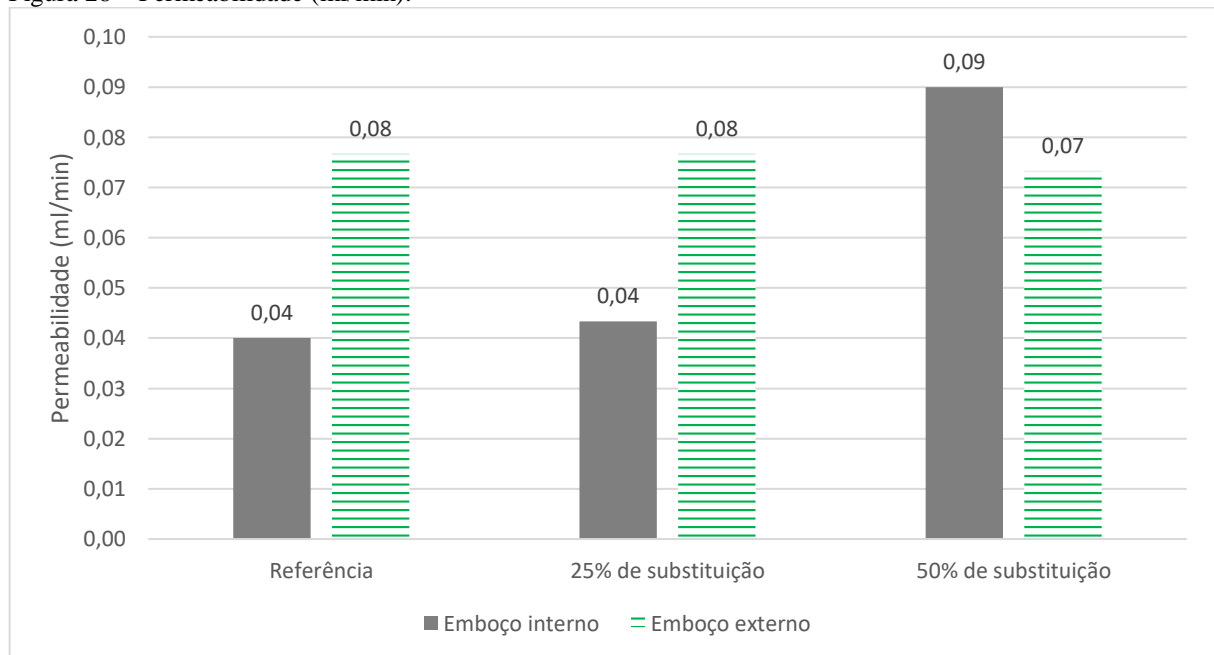
Ledesman *et al.* (2014), Jiménez *et al.* (2013), Canedo, Brandão e Peixoto Filho (2011) e Miranda (2005) associam os agregados reciclados à fissuração. Todavia os mesmos destacam ainda que se cabe uma maior investigação sobre o tipo e quantidade de agregados reciclados e a fissuração do sistema.

Portanto, embora o comportamento global desse fenômeno tenha divergido do esperado e observado na literatura supracitada, infere-se que a maior retenção de água por parte do agregado reciclado tenha impactado significativamente nesse aspecto, levando a esses resultados apresentados.

4.2.5.2 Permeabilidade

Os resultados de permeabilidade das argamassas de emboço interno e externo estão apresentados na Figura 28 e na Tabela A27 do apêndice.

Figura 28 – Permeabilidade (ml/min).



Fonte: Próprio autor (2018).

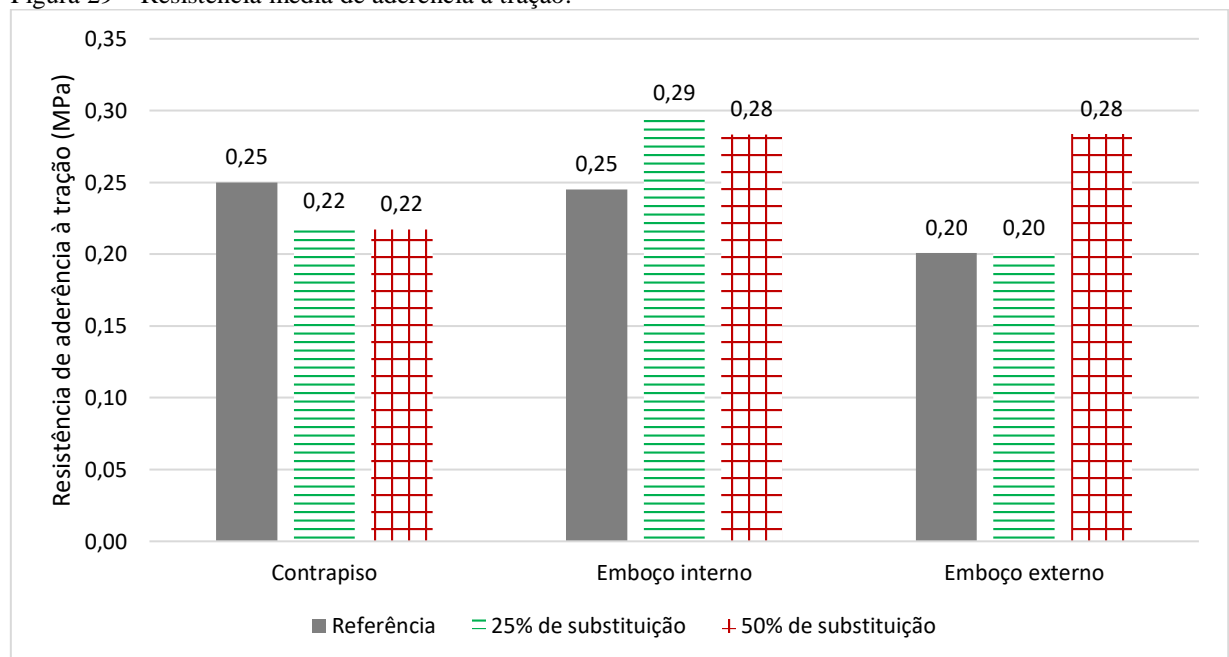
Notou-se um aumento de permeabilidade de 125% para o traço com 50% de substituição no emboço interno e uma redução de 12,5% no emboço externo para o mesmo teor de substituição. Em termos de valores absolutos, esses resultados foram menores do que os observados por Sampaio (2017), Girardi (2016) e similares aos observado por Lapa (2011).

A redução da permeabilidade com a elevação do teor de substituição da areia natural por agregado reciclado foi observada por Girardi (2016). Ferreira (2010) destaca que a quantidade de água no traço pode influenciar a permeabilidade de argamassa. Angelim, Angelim e Carasek (2003) mostraram que o aumento do teor de finos leva à redução da permeabilidade da argamassa. Portanto, considerando que a substituição do agregado natural por reciclado gera elevação na quantidade de água e aumento do teor de finos, o comportamento observado era esperado.

4.2.5.3 Resistência de aderência à tração

Os resultados médios e absolutos resistência de aderência à tração e a análise de variância estão apresentados, respectivamente, na Figura 29 e nas Tabelas 36 e A28. As ANOVAs completas estão apresentadas nas Tabelas A29, A30 e A31.

Figura 29 – Resistência média de aderência à tração.



Fonte: Próprio autor (2018).

Tabela 36 – Análise de variância da resistência de aderência à tração.

Fator	Análise de significância		
	Contrapiso	Emboço interno	Emboço externo
% de substituição	NS	NS	NS

Fonte: Próprio autor (2018).

As argamassas de contrapiso e de emboço interno obtiveram valores médios acima do limite mínimo estabelecido em norma. Todavia todos os traços de emboço externo ficaram abaixo de 0,30 MPa. Porém nota-se que a substituição da areia natural por agregado reciclado não representou em redução dessa propriedade mecânica, o que denota claramente a sua aplicabilidade.

Destaca-se ainda, com base na análise de variância realizada com esses, que todos os valores não apresentaram significância em relação ao teor de substituição. Salienta-se que, em geral, resultados de ensaios de resistência de aderência à tração apresentam alta dispersão, resultando em coeficientes de variação da ordem de 10% a 35%, mas chegam muitas vezes à faixa de 50% a 60% (CARASEK, 2012). Portanto, considerando-se esse aspecto, mesmo que se tenha observado uma variação no emboço externo da ordem de 40%, tendo em vista essa variabilidade inerente ao ensaio, considerou-se esses valores na análise, o que gerou o resultado de não significância também para essa argamassa. Esse comportamento se deve a diversos fatores, tais como material do substrato, características da argamassa, condições climáticas, energia de aplicação da argamassa, entre outros (CARASEK, 2010). Por fim, destaca-se que, esses resultados estão em consonância com os resultados mecânicos de vários estudos apresentados na Tabela A5.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusões

Quanto aos aspectos financeiros, verificou-se, conforme as considerações tomadas no estudo, que todos os cenários apresentam custos relativamente próximos. O melhor cenário foi o de trituração de resíduo sem possibilidade de reciclagem de resíduo, contemplando-se a aquisição de agregado reciclado.

Destaca-se ainda que, mediante análise realizada, observou-se o descompasso entre geração de resíduo e a necessidade de sua reutilização em serviços de uma mesma obra. Isso demonstra a clara necessidade de estocagem do mesmo e até venda do material beneficiado para outras obras ou sua utilização em aterro.

Analisa-se ainda a importância de se realizar um tratamento gerencial ao processo, tanto em redução de geração de resíduo por meio de práticas construtivas mais eficientes e melhor controle de obras quanto no tratamento do resíduo quanto ao seu beneficiamento, estocagem e reutilização, considerando a logística intrínseca ao processo em si.

No que compete à parte técnica, os agregados naturais e os reciclados apresentaram similaridade quanto a forma e angularidade, além das propriedades de granulometria, DMC, módulo de finura, massa unitária, específica e inchamento. Já em relação ao teor de material pulverulento e absorção verificou-se variabilidade mais significativa, sendo maior para o reciclado. Porém os valores ainda se encontravam dentro dos parâmetros estabelecidos em norma.

No que compete às propriedades no estado fresco, não se observou variabilidade significativa somente em relação à densidade de massa no estado fresco quanto a teores de substituição de areia natural por agregado reciclado. Notou-se um aumento do teor de ar incorporado com a elevação do teor de substituição da areia natural pelo agregado reciclado nos traços de contrapiso e de emboço externo, enquanto que, no emboço interno, o comportamento foi o oposto, mesmo que as densidades de massa no estado fresco apresentassem-se sem variações significativas. Possivelmente maiores teores de água e de material pulverulento nos traços com agregado reciclado tenha impactado nesse aspecto.

Em se tratando densidade de massa aparente no estado endurecido, módulo de elasticidade dinâmico, resistência à tração na flexão, à compressão e de aderência, notou-se a

existência de variação significativa em todas as propriedades, seja em um traço específico ou em uma idade de ruptura específica, com exceção da resistência de aderência à tração que não apresentou variabilidade significativa.

No que compete à fissuração verificou-se que as fissuras foram reduzidas com a substituição de areia natural por agregado reciclado. Já para permeabilidade, não houve variação com a elevação do teor de substituição para emboço externo. Porém notou-se elevação dessa propriedade para o traço de emboço interno com substituição de 50% do agregado natural pelo reciclado. Destaca-se ainda que os valores de permeabilidade foram considerados baixos, mesmo com essa elevação destacada anteriormente.

5.2 Sugestões de trabalhos futuros

O presente estudo permitiu aprofundar o conhecimento sobre a dinâmica de geração de resíduos em obras verticais, tanto no aspecto técnico quanto econômico e ambiental. Com isso observou-se algumas lacunas interessantes para trabalhos futuros:

- a) avaliar com mais profundidade a interferência da granulometria, forma e textura do agregado miúdo e dos resíduos nas propriedades de argamassa produzidas;
- b) aprofundar estudos para constatar a correlação entre módulo de elasticidade com resistência de tração na flexão, de compressão e, fundamentalmente, de aderência à tração com o objetivo de propor uma melhor forma de controle de fissuras em revestimentos argamassados;
- c) a considerável geração de resíduos orgânico¹ demonstra um potencial ambiental importante. Considera-se necessário avaliar uma melhor destinação desse resíduo. Portanto seria interessante um estudo que buscasse trabalhar com esse resíduo gerado nas obras;
- d) o estudo se limitou a trabalhar com resíduos Classe A. Porém um resíduo que gera quantidade importante e que gera incômodo tanto para construtores quanto para os clientes é o de gesso. Logo seria interessante buscar viabilizar técnica e economicamente a reciclagem do mesmo;

¹ Considerou-se, conforme adotado pela construtora, como resíduo orgânico a poda de árvore, lixo orgânico, papelão e plástico que são destinados ao aterro sanitário metropolitano oeste de Caucaia.

- e) a avaliação de ciclo de vida dos agregados, desde sua fabricação até a sua utilização, inclusive considerando perdas e geração de resíduos em obras seria também um campo de trabalho importante que não fora explorado no presente estudo;
- f) faz-se necessário avaliar melhor a logística reversa dos resíduos em obra. Seria interessante de apropriar de tal informação para que se consiga, no futuro, trabalhar com resíduos e agregados naturais de forma mais eficiente nas obras.

REFERÊNCIAS

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2014**. 120 p, 2014.

ABRELPE. **Estimativas dos Custos para Viabilizar a Universalização da Destinação Adequada de Resíduos Sólidos no Brasil 2015**. 48 p, 2015.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2016**. 64p, 2016.

ALVES, N. J. D. **Avaliação dos aditivos incorporadores de ar em argamassas de revestimento**. 2002. 175 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 2002.

AL ROUSAN, T. M. **Characterization of aggregate shape properties using a computer automated system**. 2004. 211 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Office of Graduate Studies, Texas A&M University, Texas, 2004.

AMARAL, M. Perspectivas para o setor de agregados. In: **Revista areia e brita**. 69. ed. São Paulo, p.18-24, out/dez, 2016.

ANGELIM, R. R.; ANGELIM, S. C. M.; CARASEK, H. Influência da adição de finos calcários, silicosos e argilosos nas propriedades das argamassas e dos revestimentos. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS**, São Paulo. **Anais...** São Paulo: 2003.

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

AMERICAN ASSOCIATION OF HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (2012). AASHTO Designation TP 81-10 – Standard method of test for determining aggregate shape properties by means of digital image analysis. Washington, DC.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 30**: Agregado miúdo – Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2001.

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

_____. **NBR NM 46**: Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR NM 52**: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

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

_____. **NBR 6467:** Agregados – Determinação do inchamento de agregado miúdo – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR 7175:** Cal hidratada para argamassas – Requisitos. Rio de Janeiro, 2003.

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

_____. **NBR 7218:** Agregados — Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 9917:** Agregados para concreto- Determinação de sais, cloretos e sulfatos solúveis. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 10004:** Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

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

_____. **NBR 13278:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.

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

_____. **NBR 13280:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.

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

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

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

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

_____. **NBR 15258:** Argamassa para revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência potencial de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15630:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultra-sônica. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.

ASSUNÇÃO, L. T.; CARVALHO, G. F.; BARATA, M. S. Avaliação das propriedades das argamassas de revestimento produzidas com resíduos da construção e de demolição como agregado. **Exacta**, v. 5, p. 223–230, 2007. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/pdf/810/81050203.pdf>>.

BALLOU, R. H. **Logística empresarial: transporte, administração de materiais e distribuição física**. São Paulo: Trad: Hugo Yoshizak, 2006.

BAVARESCO, C. R. **Utilização de entulho reciclado para produção de argamassas**. 2001. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.

BERNARDES, A.; THOMÉ, A.; PRIETTO, P. D. M.; ABREU, Á. G. Quantificação e classificação dos resíduos procedentes da construção civil e demolição no município de Passo Fundo, RS. **Ambiente Construído**, v. 8, p. 65–76, 2008. Disponível em: <scielo.php?script=sci_arttext&pid=&lang=pt>.

BIANCHINI, G.; MARROCCHINO, E.; TASSINARI, R.; VACCARO, C. Recycling of construction and demolition waste materials: A chemical-mineralogical appraisal. **Waste Management**, v. 25, n. 2 SPEC. ISS., p. 149–159, 2005.

BORDEAUX-RÊGO, R.; PAULO, G. P.; SPRITZER, I. M. P. A.; ZOTES, L. P. **Viabilidade econômico-financeira de projetos**. FGV Management. eBook Kindle. 4 ed. 159 p. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2013.

BRAVO, M.; BRITO, J.; PONTES, J.; EVANGELISTA, L. Durability performance of concrete with recycled aggregates from construction and demolition waste plants. **Construction and Building Materials**, v. 77, p. 357–369, 2015a. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.12.103>>.

BRAVO, M.; BRITO, J.; PONTES, J.; EVANGELISTA, L. Mechanical performance of concrete made with aggregates from construction and demolition waste recycling plants. **Journal of Cleaner Production**, v. 99, p. 59–74, 2015b. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.03.012>>.

BRUM, E.; DUARTE, D. L. Viabilidade Econômica da Utilização de Resíduos Reciclados na Execução do Contrapiso de um Edifício Localizado na Zona Leste de São Paulo. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 18, n. 2, p. 928–943, 2014.

CABRAL, A. E. B. **Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD**. 2007. 254 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

CABRAL, A. E. B.; MOREIRA, K. M. V. **Manual sobre os resíduos sólidos da construção civil**. 1. ed. Fortaleza: Sindicato da Indústria da Construção Civil do Ceará Sinduscon-CE, 2011.

CALCADO, G. C. S. **Influência da adição de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição no desempenho de argamassas de cimento Portland**. 2015. 101 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://ptdocz.com/doc/887111/influencia-da-adicao-de-agregados>>.

CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2010. p. 863–891.

CARASEK, H. Avaliação de resultados do ensaio de resistência de aderência de revestimentos de argamassa. **Téchne: Revista de Tecnologia da Construção**, p. 64-69, 2012.

CARASEK, H.; GIRARDI, A. C. C.; ARAÚJO, R. C.; ANGELIM, R.; CASCUDO, O. Estudo e avaliação de agregados reciclados de resíduo de construção e demolição para argamassas de assentamento e de revestimento. **Cerâmica**, v. 64, n. 370, p. 288–300, 2018. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85046137176&doi=10.1590%2F0366-69132018643702244&partnerID=40&md5=0fc6b8724bc3957c868d5f8530bdd3c9>>.

CARNEIRO, A. P.; QUADROS, B. E. C.; OLIVEIRA, A. M. V.; BRUM, I. A. S.; SAMPAIO, T. S.; ALBERTE, E. P. V.; COSTA, D. B. Características do entulho e do agregado reciclado. In: **Reciclagem de entulho para a produção de materiais de construção - Projeto Entulho Bom**. Salvador: Editora da Universidade Federal da Bahia-EDUFBA, 2001. p. 142–189.

CASAROTTO FILHO, N.; KOPITTKKE, B. H. **Análise de Investimentos**. 11. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

CAVACO, L.; VEIGA, M. R.; GOMES, A. Render application techniques for ancient buildings. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON BUILDING PATHOLOGY, DURABILITY AND REHABILITATION, Lisboa. **Anais...** Lisboa: 2003.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CASCUDO, H. C. Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio. **Boletim**, v. 68, p. 118, 1995.

COELHO, A.; BRITO, J. Generation of construction and demolition waste in Portugal. **Waste management & research : the journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA**, v. 29, n. 7, p. 739–50, 2011. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21708933>>.

COELHO, A.; BRITO, J. Economic viability analysis of a construction and demolition waste recycling plant in Portugal - Part II: Economic sensitivity analysis. **Journal of Cleaner**

Production, v. 39, p. 329–337, 2013a. Disponível em:
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.05.006>>.

COELHO, A.; BRITO, J. Economic viability analysis of a construction and demolition waste recycling plant in Portugal - Part I: Location, materials, technology and economic analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 39, p. 338–352, 2013b. Disponível em:
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.08.024>>.

CONTRERAS, M.; TEIXEIRA, S. R.; LUCAS, M. C.; LIMA, L. C. N.; CARDOSO, D. S. L.; DA SILVA, G. A. C.; GREGÓRIO, G. C.; DE SOUZA, A. E.; DOS SANTOS, A. Recycling of construction and demolition waste for producing new construction material (Brazil case-study). **Construction and Building Materials**, v. 123, p. 594–600, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.044>>.

CORINALDESI, V.; MORICONI, G. Behaviour of cementitious mortars containing different kinds of recycled aggregate. **Construction and Building Materials**, v. 23, n. 1, p. 289–294, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.12.006>>.

CORONADO, M.; DOSAL, E.; COZ, A.; VIGURI, J. R.; ANDRÉS, A. Estimation of Construction and Demolition Waste (C&DW) Generation and Multicriteria Analysis of C&DW Management Alternatives: A Case Study in Spain. **Waste and Biomass Valorization**, v. 2, n. 2, p. 209–225, 18 maio 2011. Disponível em:
<<http://link.springer.com/10.1007/s12649-011-9064-8>>.

CORREIA, J. R.; BRITO, J.; PEREIRA, A. S. Effects on concrete durability of using recycled ceramic aggregates. **Materials and Structures**, v. 39, n. 2, p. 169–177, 2007.

COSTA, W. V. G.; OLIVEIRA, E. A. Estudos e análises dos impactos da segregação de resíduos sólidos de obras em Belo Horizonte. **Revista Construindo**, v. 3, n. 1, p. 30–36, 2011.

CSTC. Hydrofugue de surface: choix et mise en oeuvre. **CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION**, v. 1, n. 1, p. 24, 1982.

DEMIRBAS, A. Waste management, waste resource facilities and waste conversion processes. **Energy Conversion and Management**, v. 52, n. 2, p. 1280–1287, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2010.09.025>>.

DIÓGENES, A. G. **Estudo do comportamento de argamassas de revestimento com areia de britagem da região metropolitana de Fortaleza**. 2016. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

DUARTE, E. B. L. **Resistência a compressão de argamassa composta por resíduo de construção e demolição e politereftalato de etileno (PET) em flocos**. 2013. 170 f. Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental e Sustentabilidade). Universidade Nove de Julho, São Paulo, 2013.

DURAN, X.; LENIHAN, H.; O'REGAN, B. A model for assessing the economic viability of construction and demolition waste recycling—the case of Ireland. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 46, n. 3, p. 302–320, 2006. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344905001242>>.

ENES, M. O que é Viabilidade? – Parte 1. Projetos e TI. 11 de maio de 2015. Disponível em: <<http://projetoseti.com.br/o-que-e-viabilidade-parte-1/>>. Acesso em: 08 jul. 2017.

ETXEBERRIA, M.; VÁZQUEZ, E.; MARÍ, A.; BARRA, M. Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 37, n. 5, p. 735–742, 2007.

EVANGELISTA, L.; BRITO, J. Mechanical behavior of concrete made with fine recycled concrete aggregates. **Cement and Concrete Composites**, v. 29, n. 5, p. 397–401, 2007.

EVANGELISTA, L.; BRITO, J. Concrete with fine recycled aggregates : a review. **European Journal of Environmental and Civil Engineering**, v. 18, n. 2, p. 129–172, 2014.

EVANGELISTA, P. P. A. **Alternativa sustentável para destinação de resíduos classe A: diretrizes para reciclagem em canteiro de obras**. 2009. 152 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana), Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2009.

EVANGELISTA, P. P. A.; COSTA, D. B.; ZANTA, V. M. Alternativa sustentável para destinação de resíduos de construção classe A: sistemática para reciclagem em canteiros de obras. **Ambiente Construído**, n. 71, p. 23–40, 2010.

FAGURY, S. C.; GRANDE, F. M. Gestão de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) – aspectos gerais da gestão pública de São Carlos/SP. **Exacta**, v. 5, n. 1, p. 35–45, 2007. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa>>.

FERNANDES, M. P. M. **Apreciação de boas práticas visando a geração de um modelo para a gestão municipal dos resíduos da construção civil**. 2013. 264 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

FERNANDO, L. F. F.; SILVA, M. A. Resíduos sólidos na construção civil: qual o custo de sua destinação e tratamento? In: XXIII Congresso Brasileiro de Custos, Porto de Galinhas. **Anais...** Porto de Galinhas: 2016.

FERREIRA, R. G. **Engenharia econômica e avaliação de projetos de investimento: critérios de avaliação: financiamentos e benefícios fiscais: análise de sensibilidade e risco**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

FREITAS, C. S.; CORREIA, R. F.; FRANÇA, K. P.; SANTANA, F. G.; LEITE, M. B. Diagnóstico do descarte clandestino de resíduos de construção e demolição em Feira de Santana/BA: estudo piloto. In: VI Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil., **Anais...**São Paulo, IBRACON, CT-206, 2003.

FREITAS, C.; COSTA, M. R. M. M. Estudo da influência da distribuição granulométrica no desempenho de argamassas com areia britada. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 13., 2010, Canela-RS. **Anais...** Canela-RS: ANTAC, 2010.

GEHBAUER, F.; EGGENSPERGER, M.; ALBERTI, M. E.; NEWTON, S. A. **Planejamento e Gestão de Obras: Um resultado prático da cooperação técnica Brasil-Alemanha**. 2. ed. Curitiba: Editora CEFET-PR, 2002.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GIRARDI, A. C. C. **Avaliação da substituição total de areia natural por RCD em revestimentos de argamassa**. 2016. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

GONÇALVES, P. H. **Planejamento e gerenciamento do resíduo sólido de construção e demolição – Estudo de casos Goianos**. 2013. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Programa de Pós-Graduação em Geotécnica, Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013. Disponível em: <[https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tede/2940/5/D0086C13 Pedro Henrique Gonçalves.pdf](https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tede/2940/5/D0086C13%20Pedro%20Henrique%20Goncalves.pdf)>.

GOONAN, T. G. **Recycled Aggregates — Profitable Resource Conservation. U.S. Geological Survey Circular**. Disponível em: <<https://pubs.usgs.gov/fs/fs-0181-99/fs-0181-99so.pdf>>. Acesso em: 27 mar. 2017.

GRIGOLI, A. S. Entulho de obra: reciclagem e consumo na própria obra que o gerou. In: VII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Salvador, BA. **Anais...** Salvador, BA: ANTAC: 2000. v. 2 p.1034-1042, 2000.

GUACELLI, P. A. G. **Substituição de areia natural por areia de britagem de rochas basálticas para argamassas de revestimento**. 2010. 166 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) - Centro de Tecnologia e Urbanismo, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2010.

HAWLITSCHKE, G.; CARDOSO, F. A.; ULSEN, C.; AMARAL, I.; KAHN, H.; PILEGGI, R. G.; JOHN, V. M. Estudo da influência de areias recicladas a partir de resíduos de construção e demolição (RCD) em argamassas. In: X Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Fortaleza, CE. **Anais...**Fortaleza, CE: ANTAC: 2013. p. 1-18, 2013.

JADOVSKI, I. **Diretrizes técnicas e econômicas para usinas de reciclagem de resíduos de construção e demolição**. 2005. 178 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Civil), Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

JAPIASSÚ, P.; CARASEK, H.; CASCUDO, O.; VELOSA, A. L.; DE OLIVEIRA, M. C. B.; CHOTOLI, F. F.; QUARCIONI, V. A. Caracterização da interface azulejo/argamassa de

fachadas históricas. **Revista ALCONPAT**, v. 4, n. 1, p. 54, 2014. Disponível em: <<http://www.revistas-conacyt.unam.mx/alconpat/index.php/RA/article/view/61>>.

JIMÉNEZ, J. R.; AYUSO, J.; LÓPEZ, M.; FERNÁNDEZ, J. M.; DE BRITO, J. Use of fine recycled aggregates from ceramic waste in masonry mortar manufacturing. **Construction and Building Materials**, v. 40, p. 679–690, 2013.

JOHN, V. M. **Reciclagem de Resíduos na Construção Civil: Contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 2000. 113 f. Tese (Livre Docência), Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

JOHN, V. M.; ANGULO, S. C.; MIRANDA, L. F. R.; AGOPYAN, V.; PAULO, S.; CONSTRUCTION, C. Strategies for innovation in construction waste management in Brazil. **Cib World Building Congress**, p. 1–11, 2004.

KAZMIERCZAK, C. S.; ROSA, M.; ARNOLD, D. C. M. Influência da adição de filer de areia de britagem nas propriedades de argamassas de revestimento. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 2, p. 7-19, abr./jun. 2016.

KHALAF, F. M.; DEVENNY, A. S. Recycling of Demolished Masonry Rubble as Coarse Aggregate in Concrete: Review. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 16, n. 4, p. 331–340, 2004.

KHATIB, J. M. Properties of concrete incorporating fine recycled aggregate. **Cement and Concrete Research**, v. 35, n. 4, p. 763–769, 2005.

KOFOWOROLA, O. F.; GHEEWALA, S. H. Estimation of construction waste generation and management in Thailand. **Waste Management**, v. 29, n. 2, p. 731–738, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2008.07.004>>.

KOU, S. C.; POON, C. S.; WAN, H. W. Properties of concrete prepared with low-grade recycled aggregates. **Construction and Building Materials**, v. 36, p. 881–889, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.06.060>>.

LAPA, J. S. **Utilização em argamassas do resíduo de construção oriundo do próprio canteiro de obra**. 2011. 132 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil), Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/ISMS-8JVMJP>>.

LEDESMA, E. F.; JIMÉNEZ, J. R.; FERNÁNDEZ, J. M.; GALVÍN, A. P.; AGRELA, F.; BARBUDO, A. Properties of masonry mortars manufactured with fine recycled concrete aggregates. **Computers and Chemical Engineering**, v. 71, p. 289–298, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.08.080>>.

LEITE, P. R. **Logística reversa: meio ambiente e competitividade**. 2. ed. São Paulo: São Paulo: Prentice Hall, 2009.

LEITE, W. C. A. **Estudo da gestão de resíduos sólidos: uma proposta de modelo tomando a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI-5) como referência**. 1997.

270 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.

LEVY, S. M.; HELENE, P. **Vantagens e Desvantagens de Argamassas Produzidas com Entulho de Obra, Finamente Moído**. 1997. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/185, 1997. Disponível em: <http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT_00185.pdf>.

LEVY, S. M.; HELENE, P. R. L. Reciclagem de entulhos na construção civil, a solução política e ecologicamente correta. In: I Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Goiânia. **Anais...** Goiânia: 1995. Disponível em: <<https://www.gtargamassas.org.br/eventos/file/28-reciclagem-de-entulhos-na-construcao-civil-a-solucao-politica-e-ecologicamente-correta?start=20>>.

LEVY, S. M.; HELENE, P. R. L. Propriedades mecânicas de argamassas produzidas com entulho de construção civil. In: Reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção civil workshop, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, PCC USP, UFSC, 1996.

LIMA, A. S.; CABRAL, A. E. B. Caracterização e classificação dos resíduos de construção civil da cidade de Fortaleza (CE). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 18, n. 2, p. 169–176, 2013.

LIMA, R. S.; LIMA, R. R. R. **Guia para Elaboração de Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil**. 1. ed. Curitiba: Série de Publicações Temáticas do Crea-PR., 2009.

LOVATO, P. S. **Verificação dos parâmetros de controle de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição para utilização em concreto**. 2007. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

LOVATO, P. S.; MENEGATTI, R. Influência da pré-umidificação do agregado reciclado de resíduos da construção civil nas propriedades de argamassas de revestimentos. In: XI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: 2015. Disponível em: <<https://www.gtargamassas.org.br/eventos/file/503>>.

MÁLIA, M.; BRITO, J.; PINHEIRO, M. D.; BRAVO, M. Construction and demolition waste indicators. **Waste Management & Research**, v. 31, n. 3, p. 241–255, 2013. Disponível em: <<http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0734242X12471707>>.

MALTA, J. O.; SILVA, V. S.; GONÇALVES, J. P. Argamassa contendo agregado miúdo reciclado de resíduo de construção e demolição. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**, v. 1, n. 2, p. 176–188, 2013.

MANAHAN, S. E. **Fundamentals of Environmental Chemistry**. 2. ed. Boca Raton: CRC PressLLC, 2001.

MARCONDES, F. C. S.; CARDOSO, F. F. Contribuição para aplicação do conceito de logística reversa na cadeia de suprimentos da construção civil. In: IV Sibragec/I Elagec, 1,

Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: 2005. Disponível em:
<[http://www.pcc.usp.br/files/text/personal_files/francisco_cardoso/Artigo Marcondes Cardoso LogReversa Sibragec 2005.pdf](http://www.pcc.usp.br/files/text/personal_files/francisco_cardoso/Artigo%20Marcondes%20Cardoso%20LogReversa%20Sibragec%202005.pdf)>.

MARINHO, J. L. A.; SILVA, J. D. Gerenciamento dos resíduos da construção e demolição: diretrizes para o crescimento sustentável da construção civil na região metropolitana do Cariri cearense. **E-Tech: Tecnologias para Competitividade Industrial**, v. 5, n. 1, p. 102–119, 2012.

MARTÍNEZ, I.; ETXEBERRIA, M.; PAVÓN, E.; DÍAZ, N. A comparative analysis of the properties of recycled and natural aggregate in masonry mortars. **Construction and Building Materials**, v. 49, p. 384–392, 2013.

MARTINS, F. G. **Gestão e gerenciamento de resíduos da construção civil em obras de grande porte - Estudos de caso**. 2012. 177 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

MARTINS, G. D. **Levantamento qualitativo dos resíduos sólidos industriais gerados nas micros e pequenas indústrias do município de São Carlos (SP) e panorama atual dos inventários estaduais**. 2004. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

MEDINA, C.; ZHU, W.; HOWIND, T.; FRÍAS, M.; DE SÁNCHEZ ROJAS, M. I. Effect of the constituents (asphalt, clay materials, floating particles and fines) of construction and demolition waste on the properties of recycled concretes. **Construction and Building Materials**, v. 79, p. 22–33, 2015. Disponível em:
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.12.070>>.

MEJÍA, E.; TOBÓN, J. I.; OSORNO, L.; OSORIO, W. Mineralogical characterization of urban construction and demolition waste: potential use as a nutrient source for degraded soils. **WIT Transactions on Ecology and The Environment**, v. 194, p. 399–413, 2015. Disponível em: <<http://library.witpress.com/viewpaper.asp?pcode=SC15-035-1>>.

MENDES, B. S.; BORJA, E. V. de. Estudo experimental das propriedades físicas de argamassas com adição de resíduos de cerâmicas vermelhas recicladas. **Revista Holos**, v. 3, p. 43–51, 2007.

MIRANDA, L. F. R. **Contribuição ao desenvolvimento da produção e controle de argamassas de revestimento com areia reciclada lavada de resíduos classe A da construção civil**. 2005. 439 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

MORAIS, T. A. **Estudo do uso do agregado miúdo reciclado de concreto na produção de argamassa de revestimento vertical**. 2011. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

- MORALES, B. R. S. C. **Avaliação da influência das frações de agregado reciclado nas propriedades das argamassas de revestimento**. 2015. 201 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.
- MOURÃO, C. A. M. A. **Gestão de fluxos logísticos internos na construção civil - O caso de obras verticais em Fortaleza-CE**. 2007. 171 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2007.
- NAKAKURA, E. H.; CINCOTTO, M. A. **Análise dos requisitos de classificação de argamassas de assentamento e revestimento**. 2004. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil ; BT/PCC/359, São Paulo, 2004.
- NENO, C. J. F. **Desempenho de argamassas com incorporação de agregados finos provenientes da trituração do betão**. 2010. 168 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010.
- NETO, J. C. M. **Gestão dos resíduos sólidos de construção e demolição no Brasil**. São Carlos: RiMa, 2005.
- NOVAES, M. V.; MOURÃO, C. A. M. A. **Manual de Gestão Ambiental: Resíduos Sólidos na Construção Civil**. 1. ed. Fortaleza: Coopercon - Cooperativa da Construção Civil do Estado do Ceará, 2008.
- NUNES, K. R. A. **Avaliação de investimentos e de desempenho de centrais de reciclagem para resíduos sólidos de construção e demolição**. 2004. 276 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.
- NUNES, K. R. A.; MAHLER, C. F.; VALLE, R.; NEVES, C. Evaluation of investments in recycling centres for construction and demolition wastes in Brazilian municipalities. **Waste Management**, v. 27, n. 11, p. 1531–1540, 2007.
- OLIVEIRA, M. E. D.; CABRAL, A. E. B. Argamassas de revestimento produzidas com agregados reciclados de Fortaleza/CE, Brasil. **Engenharia Civil UM**, v. 41, p. 21–34, 2011. Disponível em: <<http://www.civil.uminho.pt/revista/n41/Pag21-34.pdf%5Cnpapers2://publication/uuid/F1BA4847-7D75-46EF-8CC2-59F41AAF9F7C>>.
- OLIVEIRA, M. E. D.; SALES, R. J. M.; OLIVEIRA, L. A. S.; CABRAL, A. E. B. Diagnóstico da geração e composição de RCD em Fortaleza. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 16, n. 3, p. 219–224, 2011.
- OLIVEIRA, M. J. E. **Materiais descartados pelas obras de construção civil: Estudo dos resíduos de concreto para reciclagem**. 2002. 191 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro., 2002.
- OSSA, A.; GARCÍA, J. L.; BOTERO, E. Use of recycled construction and demolition waste (CDW) aggregates: a sustainable alternative for the pavement construction industry. **Journal**

of **Cleaner Production**, v. 135, p. 379–386, 2016. Disponível em:
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965261630765X>>.

PAIXÃO, S. O. **Estudo do uso de resíduo cerâmico de obras como agregado miúdo para fabricação de argamassas para revestimento de alvenarias**. 2013. 56 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

PANDOLFO, L. M.; MASUERO, A. B. Propriedades das argamassas de revestimento produzidas com areia natural e areia de basalto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 6., 2005, Florianópolis e INTERNACIONAL SYMPOSIUM ON MORTARS TECHNOLOGY, 1., 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2005. p. 53 -58.

PASCHOALIN FILHO, J. A.; DIAS, A. J. G.; CORTES, P. L.; DUARTE, E. B. L. Manejo de resíduos de demolição gerados durante obras da arena de futebol Palestra Itália (Allianz Parque) localizada na cidade de São Paulo / Brasil. **Holos**, v. 6, p. 73–91, 2013.

PASCHOALIN FILHO, J. A.; DUARTE, E. B. L.; DIAS, A. J. G.; FARIA, A. C. Gerenciamento dos resíduos de construção nas obras de um edifício comercial na cidade de São Paulo. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 37, n. 4, p. 91–107, 2016. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84966460009&partnerID=40&md5=72b6edefe6bcd1b1819567b8e91ba57a>>.

PEDROZO, R. F. E. **Influência da substituição do agregado miúdo natural por agregado reciclado fino em propriedades de argamassas e concretos**. 2008. 161 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

PENG, C.; SCORPIO, D. E.; KIBERT, C. J. Strategies for successful construction and demolition waste recycling operations. **Construction Management and Economics**, v. 15, n. February, p. 49–58, 1997. Disponível em:
<<http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=b88a64e6-6d21-4cc8-b263-ea798d91b1f7@sessionmgr4001&vid=1&hid=4214>>.

PIMENTEL, U. H. O. **Análise da geração de resíduos da construção civil da cidade de João Pessoa/PB**. 2013. 188 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia/Universidade Federal da Paraíba, Salvador, 2013.

PINTO, T. P. **Utilização de resíduos de construção: estudo do uso em argamassas**. 1986. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1986.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999. Disponível em:
<<http://www.casoi.com.br/hjr/pdfs/GestResiduosSolidos.pdf>>.

POON, C. S.; KOU, S. C.; LAM, L. Use of recycled aggregates in molded concrete bricks and blocks. **Construction and Building Materials**, v. 16, n. 5, p. 281–289, 2002.

PRAZERES, R. M. L. **Análise da viabilidade econômico-financeira de um empreendimento de produção e venda de café no norte do Espírito Santo**. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia de Produção Mecânica, Fortaleza, 2016

RAKSHVIR, M.; BARAI, S. V. Studies on recycled aggregates-based concrete. **Waste Management & Research**, v. 24, n. 3, p. 225–233, 2006. Disponível em: <<http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0734242X06064820>>.

RAMOS, B. F. **Indicadores de qualidade dos resíduos da construção civil do município de Vitória-ES**. 2007. 190 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2007.

RAVINDRARAJAH, R. S.; TAM, C. Recycling concrete as fine aggregate in concrete. **The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete**, v. 9, n. 4, p. 235–241, 1987.

RICHARDSON, A.; COVENTRY, K.; BACON, J. Freeze/thaw durability of concrete with recycled demolition aggregate compared to virgin aggregate concrete. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 2–3, p. 272–277, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.09.014>>.

RILEM. Recommendations MR1-21: Testing methods of mortar and rendering. **RÉUNION INTERNATIONALE DES LABORATOIRES D'ESSAIS ET RECHERCHES SUR LES MATÉRIAUX ET LÊS CONSTRUCTION**, v. 1, n. 1, 1982.

ROBERTO, P.; BEZERRA, L.; FARIA, A. C. Gerenciamento de resíduos de construção civil em edifícios residenciais no município de São Paulo. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 11, n. 1, p. 73–89, 2017.

RODRIGUES, F.; CARVALHO, M. T.; EVANGELISTA, L.; DE BRITO, J. Physical-chemical and mineralogical characterization of fine aggregates from construction and demolition waste recycling plants. **Journal of Cleaner Production**, v. 52, p. 438–445, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.02.023>>.

SAMPAIO, K. N. H. **Avaliação técnica da utilização de cinzas de combustão do carvão mineral proveniente de termelétrica em argamassas de revestimento**. 2017. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil: Estruturas e construção civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

SANTANA, T. S.; ARAÚJO, T. V; PEREIRA, C. H. F. Reaproveitamento de resíduos da construção civil produzidos no Distrito Federal para a produção de argamassa de revestimento. In: XII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, São Paulo. **Anais...** São Paulo: 2017. Disponível em: <<https://www.gtargamassas.org.br/eventos/file/599>>.

SARDÁ, M. C. **Diagnóstico do resíduo da construção civil gerado no município de Blumenau-SC. Potencialidades de uso em obras públicas**. 2003. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

SCHAEFER, C. O.; ROCHA, J. C.; CHERIAF, M. Estudo do comportamento de lixiviação de argamassas produzidas com agregados reciclados. **Exacta**, v. 5, n. 2, p. 243–252, 2007.

SCHALCH, V. **Estratégias para a gestão e o gerenciamento de resíduos sólidos**. 2002. 149 f. Tese (Livre Docência) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

SCHNEIDER, D. M.; PHILIPPI JR, A. Gestão pública de resíduos da construção civil no município de São Paulo. **Ambiente Construído**, v. 4, n. 4, p. 21–32, 2004. Disponível em: <<http://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/3571>>.

SHEEN, Y.-N.; WANG, H.-Y.; JUANG, Y.-P.; LE, D.-H. Assessment on the engineering properties of ready-mixed concrete using recycled aggregates. **Construction and Building Materials**, v. 45, p. 298–305, 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061813002821>>.

SHIBAO, F. Y.; MOORI, R. G.; SANTOS, M. R. A logística reversa e a sustentabilidade empresarial. In: XIII Semead - Seminários em Administração, São Paulo. **Anais...** São Paulo: 2010.

SILVA, D. A. A. **Estudo de viabilidade técnica de agregados reciclados de RCD na produção de contrapiso**. 2014. 62 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

SILVA, E. C. R.; BEZERRA, A. J. V.; SILVA, C. F. C.; MIRANDA, L. F. R. Desempenho de revestimentos de argamassa com areias recicladas produzidas em canteiro de obras. In: IX Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: 2011. Disponível em: <http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/b/be/TC034_Argamassa_de_revestimento.pdf>.

SILVA, N. G. **Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária**. 2006. 176 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SILVA, N. G.; CAMPITELI, V. C. Influência dos finos e da cal nas propriedades das argamassas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: 2006.

SILVA, N. G.; CAMPITELI, V. C. Correlação entre módulo de elasticidade dinâmico e resistências mecânicas de argamassas de cimento, cal e areia. **Ambiente Construído**, v. 8, n. 42, p. 21–35, 2008.

SILVA, N. G.; GLEIZE, J. P.; GOMES, L. A. Metodologia para avaliação da fissuração em revestimentos de argamassa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ANTAC, 2009.

SILVA, R. W. C.; ARNOSTI JR, S. Caracterização do resíduo de construção e demolição (RCD) reciclado. **Holos environment**, v. 5, p. 137–151, 2005.

SILVA, W. M.; FERREIRA, R. C.; SOUZA, L. O.; SILVA, A. M. Gerenciamento de resíduos da Construção Civil e demolição e sua utilização como base, sub-base e mistura betuminosa em pavimento urbano em Goiânia-GO. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 15, p. 1–9, 2010.

SILVA FILHO, C. R. V.; SOLER, F. D. **Gestão de resíduos sólidos: o que diz a lei**. 3a ed. Trevisan Editora Universitária, 2015.

SILVA, R. V.; DE BRITO, J.; DHIR, R. K. Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste suitable for concrete production. **Construction and Building Materials**, v. 65, p. 201–217, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.04.117>>.

SOIBELMAN, L. **As perdas de materiais na construção de edificações: sua incidência e seu controle**. 1993. 127 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil), Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1993.

SOUZA, M. S. M. Práticas acerca do gerenciamento de resíduos sólidos e da educação ambiental no setor da construção civil em obras realizadas no município de Practices regarding the management of solid waste and environmental education in the construction sector carried. **UNISANTA Bioscience**, v. 5, p. 195–207, 2016.

SOUZA, U. E. L.; PALIARI, J. C.; AGOPYAN, V.; ANDRADE, A. C. Diagnóstico e combate à geração de resíduos na produção de obras de construção de edifícios: uma abordagem progressiva. **Ambiente Construído**, v. 4, n. 4, p. 33–46, 2004.

TAM, V. W. Y. Comparing the implementation of concrete recycling in the Australian and Japanese construction industries. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, n. 7, p. 688–702, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.11.015>>.

TESSARO, A. B.; SÁ, J. S.; SCREMIN, L. B. Quantificação e classificação dos resíduos procedentes da construção civil e demolição no município de Pelotas, RS. **Ambiente Construído**, v. 12, n. 2, p. 121–130, 2012.

TIPLER, P. A.; MOSCA, G. **Física para cientistas e engenheiros. Vol. 1: mecânica, oscilações e ondas, termodinâmica**. Grupo Gen-LTC, 2000.

TREVISAN, R. **Estudo de viabilidade econômica de empreendimentos imobiliários**. 99 p. eBook Kindle. 2015.

TU, T. Y.; CHEN, Y. Y.; HWANG, C. L. Properties of HPC with recycled aggregates. **Cement and Concrete Research**, v. 36, n. 5, p. 943–950, 2006.

ULSEN, C.; CARRIJO, P. M.; SILVA, R. M.; JOHN, M.; KAHN, H. Characterization of brazilian construction demolition waste coarse recycled aggregate. In: Proceedings of the International RILEM Conference on the Use of Recycled Materials in Building and Structures, **Anais...**2004.

ULSEN, C.; KAHN, H.; ANGULO, S. C.; JOHN, V. M. Composição química de agregados mistos de resíduos de construção e demolição do Estado de São Paulo. Rem: **Revista Escola de Minas**, v. 63, n. 2, p. 339–346, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672010000200019&lng=en&nrm=iso&tlng=pt>.

VIEIRA, A. A. P. **Estudo do aproveitamento de resíduos de cerâmica vermelha como substituição pozolânica em argamassas e concreto**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana), Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2005.

VIEIRA, G. L. **Estudo do processo de corrosão sob a ação de íons cloreto em concretos obtidos a partir de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2003. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

VIEIRA, G. L.; DAL MOLIN, D. C. C. Viabilidade técnica da utilização de concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. **Ambiente Construído**, v. 4, p. 47–63, 2004.

XAVIER, L. L. **Subsídios para tomada de decisão visando melhoria do gerenciamento do resíduo urbano em Florianópolis/SC: enfoque no resíduo de construção civil**. 2001. 177 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

YATES, J. K. Sustainable methods for waste minimisation in construction. **Construction Innovation**, v. 13, n. 3, p. 281–301, 2013. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/doi/10.1108/CI-Nov-2011-0054>>.

YEHEYIS, M.; HEWAGE, K.; ALAM, M. S.; ESKICIOGLU, C.; SADIQ, R. An overview of construction and demolition waste management in Canada: A lifecycle analysis approach to sustainability. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 15, n. 1, p. 81–91, 2013.

YU, A. T. W.; POON, C. S.; WONG, A.; YIP, R.; JAILLON, L. Impact of Construction Waste Disposal Charging Scheme on work practices at construction sites in Hong Kong. **Waste Management**, v. 33, n. 1, p. 138–146, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2012.09.023>>.

YUAN, F.; SHEN, L.; LI, Q. Emergy analysis of the recycling options for construction and demolition waste. **Waste Management**, v. 31, n. 12, p. 2503–2511, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2011.07.001>>.

YUAN, H. A SWOT analysis of successful construction waste management. **Journal of Cleaner Production**, v. 39, p. 1–8, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.08.016>>.

YUAN, H.; CHINI, A. R.; LU, Y.; SHEN, L. A dynamic model for assessing the effects of management strategies on the reduction of construction and demolition waste. **Waste Management**, v. 32, n. 3, p. 521–531, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2011.11.006>>.

YUAN, H. P.; SHEN, L. Y.; HAO, J. J. L.; LU, W. S. A model for cost-benefit analysis of construction and demolition waste management throughout the waste chain. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 55, n. 6, p. 604–612, 2011.

ZAHARIEVA, R.; BUYLE-BODIN, F.; SKOCZYLAS, F.; WIRQUIN, E. Assessment of the surface permeation properties of recycled aggregate concrete. **Cement and Concrete Composites**, v. 25, n. 2, p. 223–232, 2003.

ZHAO, W.; LEEFTINK, R. B.; ROTTER, V. S. Evaluation of the economic feasibility for the recycling of construction and demolition waste in China-The case of Chongqing. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 54, n. 6, p. 377–389, 2010.

ZORDAN, S. E. **A utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto**. 1997. 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia Civil. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1997.

APÊNDICE

Tabela A1 – Absorção de agregados produzidos por diversos autores.

Tipo de agregado	Absorção (%)	Fonte
Areia natural	3,70	Pedrozo (2008)
	3,10	Corinaldesi e Moriconi (2009)
	2,97	Carasek <i>et al.</i> (2018)
	2,50	Lapa (2011)
	1,00	Silva (2014)
	0,85	Carasek <i>et al.</i> (2018)
	0,79	Jiménez <i>et al.</i> (2013)
	0,42	Cabral (2007)
Argamassa	8,90	Lapa (2011)
	5,00	Miranda (2005)
	4,13	Cabral (2007)
Cerâmico	16,20	Corinaldesi e Moriconi (2009)
	11,50	Miranda (2005)
	10,69	Cabral (2007)
	8,90	Paixão (2013)
Concreto	16,58	Carasek <i>et al.</i> (2018)
	13,10	Evangelista e Brito (2007)
	7,55	Cabral (2007)
	7,10	Corinaldesi e Moriconi (2009)
	5,50	Miranda (2005)
	3,07	Evangelista (2009)
Misto (Alvenaria, argamassa, concreto)	17,65	Lovato e Menegatti (2015)
	16,35	Malta, Silva e Gonçalves (2013)
	12,01	Carasek <i>et al.</i> (2018)
	11,00	Silva (2014)
	6,01	Carasek <i>et al.</i> (2018)
Misto (Argamassa, cerâmica)	10,60	Pedrozo (2008)
	9,00	Jiménez <i>et al.</i> (2013)
Misto (Argamassa, concreto, cerâmica)	7,00	Miranda (2005)
Misto (Concreto, alvenaria, betoneira)	8,80	Corinaldesi e Moriconi (2009)

Fonte: Adaptado de Carasek *et al.* (2018), Lovato e Menegatti (2015); Silva (2014); Jiménez *et al.* (2013); Paixão (2013); Lapa (2011); Corinaldesi e Moriconi (2009); Pedrozo (2008); Cabral (2007); Evangelista e Brito (2007); Malta, Assunção, Carvalho e Barata (2007); Miranda (2005).

Tabela A2 – Massa específica de agregados produzidos por diversos autores.

Tipo de agregado	Massa específica (g/cm³)	Massa unitária solta (g/cm³)	Fonte
Areia natural	2,67	-	Calcado (2015)
	2,67	1,41	Silva (2014)
	2,65	1,62	Paixão (2013)
	2,64	1,56	Cabral (2007)
	2,64	1,58	Lovato e Menegatti (2015)
	2,64	1,84	Santana, Araújo e Pereira (2017)
	2,63	-	Jiménez <i>et al.</i> (2013)
	2,62	1,57	Malta, Silva e Gonçalves (2013)
	2,62	1,55	Mendes e Borja (2007)
	2,61	1,51	Lapa (2011)
	2,61	1,52	Pedrozo (2008)
	2,60	1,48	Martinez <i>et al.</i> (2013)
	2,60	1,63	Assunção, Carvalho e Barata (2007)
	2,60	1,51	Vieira (2005)
	2,59	-	Corinaldesi e Moriconi (2009)
2,59	1,15	Levy e Helene (1997)	
Argamassa	2,62	1,31	Miranda (2005)
	2,60	1,36	Cabral (2007)
	2,52	1,38	Levy e Helene (1997)
	2,51	1,33	Lapa (2011)
	2,71	1,07	Miranda (2005)
Cerâmico	2,63	1,21	Mendes Borja (2007)
	2,51	1,15	Levy e Helene (1997)
	2,38	1,25	Paixão (2013)
	2,35	1,12	Cabral (2007)
	2,13	1,25	Martinez <i>et al.</i> (2013)
	2,06	-	Corinaldesi e Moriconi (2009)

Fonte: Adaptado de Santana, Araújo e Pereira (2017); Calcado (2015); Lovato e Menegatti (2015); Silva (2014); Martinez *et al.* (2013); Jiménez *et al.* (2013); Paixão (2013); Silva e Gonçalves (2013); Lapa (2011); Evangelista, Costa e Zanta (2010); Corinaldesi e Moriconi (2009); Evangelista (2009); Pedrozo (2008); Cabral (2007); Malta, Assunção, Carvalho e Barata (2007); Mendes e Borja (2007); Miranda (2005); Levy e Helene (1997).

Continuação da Tabela A2 – Massa específica de agregados produzidos por diversos autores.

Tipo de agregado	Massa específica (g/cm³)	Massa unitária solta (g/cm³)	Fonte
Concreto	2,64	1,33	Miranda (2005)
	2,59	1,38	Evangelista (2009)
	2,56	1,39	Cabral (2007)
	2,38	-	Corinaldesi e Moriconi (2009)
	2,37	1,28	Evangelista, Costa e Zanta (2010)
	2,11	1,29	Martinez <i>et al.</i> (2013)
	2,63	1,76	Santana, Araújo e Pereira (2017)
Misto (Alvenaria, argamassa, concreto)	2,53	1,33	Lovato e Menegatti (2015)
	2,46	1,16	Malta, Silva e Gonçalves (2013)
	2,29	1,32	Silva (2014)
Misto (Argamassa, concreto, cerâmico)	2,65	1,18	Miranda (2005)
Misto (Argamassa, cerâmica)	2,14	-	Jiménez <i>et al.</i> (2013)
	2,09	1,16	Martinez <i>et al.</i> (2013)
Misto (Argamassa, cerâmica, concreto)	2,48	-	Assunção, Carvalho e Barata (2007)
Misto (Argamassa, cerâmico)	2,52	1,16	Pedrozo (2008)
Misto (Argamassa, concreto)	2,45	-	Calcado (2015)
Misto (Concreto, alvenaria, betoneira)	2,29	-	Corinaldesi e Moriconi (2009)

Fonte: Adaptado de Santana, Araújo e Pereira (2017); Calcado (2015); Lovato e Menegatti (2015); Silva (2014); Martinez *et al.* (2013); Jiménez *et al.* (2013); Paixão (2013); Silva e Gonçalves (2013); Lapa (2011); Evangelista, Costa e Zanta (2010); Corinaldesi e Moriconi (2009); Evangelista (2009); Pedrozo (2008); Cabral (2007); Malta, Assunção, Carvalho e Barata (2007); Mendes e Borja (2007); Miranda (2005); Levy e Helene (1997).

Tabela A3 – Resistência à tração na flexão produzidos por diversos autores.

Tipo de agregado	Traço em massa	Resistência de tração na flexão	Relação a/c	Consistência	Fonte
Areia natural		1,30	1,61	260	Lovato e Menegatti (2015)
		0,60	1,46	260	
Misto (argamassa, cerâmico, concreto)	1:1:6 (cimento, cal e areia)	1,40	1,33		
		1,20	1,88	260	
		0,80	1,99	260	
		1,20	1,85	260	
		0,50	1,98	260	
Areia natural		3,60	0,90	150	Silva (2014)
Misto (argamassa, cerâmico, concreto)	1:6 (cimento, areia)	2,75	0,90	160	
		3,10	0,90	145	
		3,30	0,90	145	
		3,70	0,90	144	
Areia natural		1,40	1,21	176	Neno (2010)
Areia natural e Concreto	1:4 (cimento e areia)	1,90	1,31	170	
		1,60	1,30	178	
Concreto		2,20	1,27	170	
	1:1:4 (cimento, cal, areia)	1,64	1,58	260	Silva e Campiteli (2008)
	1:1:6 (cimento, cal, areia)	0,78	2,16	270	
	1:1:8 (cimento, cal, areia)	0,44	2,74	265	
	1:2:6 (cimento, cal, areia)	0,61	2,74	265	
Areia natural	1:2:9 (cimento, cal, areia)	0,32	3,38	270	
	1:2:12 (cimento, cal, areia)	0,15	4,45	280	
	1:3:8 (cimento, cal, areia)	0,31	3,88	270	
	1:3:12 (cimento, cal, areia)	0,17	4,92	265	
	1:3:16 (cimento, cal, areia)	0,14	6,12	260	
Areia britada	1:1:4 (cimento, cal, areia)	2,32	1,56	260	

Fonte: Lovato e Menegatti (2015), Silva (2014), Silva e Campiteli (2008), Neno (2010).

Continuação da Tabela A3 – Resistência à tração na flexão produzidos por diversos autores.

Tipo de agregado	Traço em massa	Resistência de tração na flexão	Relação a/c	Consistência	Fonte
Areia britada	1:1:6 (cimento, cal, areia)	1,07	2,23	270	Silva e Campiteli (2008)
	1:1:8 (cimento, cal, areia)	0,75	2,63	265	
	1:2:6 (cimento, cal, areia)	0,74	3,42	270	
	1:2:9 (cimento, cal, areia)	0,50	3,42	270	
	1:2:12 (cimento, cal, areia)	0,27	4,23	280	
	1:3:8 (cimento, cal, areia)	0,42	3,78	270	
	1:3:12 (cimento, cal, areia)	0,23	4,92	265	
	1:3:16 (cimento, cal, areia)	0,19	6,02	260	

Fonte: Lovato e Menegatti (2015), Silva (2014), Silva e Campiteli (2008), Neno (2010).

Tabela A4 – Resistência à compressão produzidos por diversos autores.

Tipo de agregado	Traço em massa	Resistência à compressão	Relação a/c	Consistência	Fonte
Areia natural		3,7	1,61	260 ± 20	Lovato e Menegatti (2015)
Misto (argamassa, cerâmico, concreto)	1:1:6 (cimento, cal e areia)	1,3	1,46	260 ± 20	
		3,4	1,33	260 ± 20	
		1,8	1,88	260 ± 20	
		1,1	1,99	260 ± 20	
		2,0	1,85	260 ± 20	
		1,1	1,98	260 ± 20	
		9,4	2,31	230 ± 10	
		8,4	2,04	230 ± 10	
Misto (argamassa, concreto)		7,7	1,97	230 ± 10	
		4,7	2,17	230 ± 10	
		6,4	1,96	230 ± 10	
Areia natural		4,7	1,88	230 ± 10	Baravesco (2001)
		2,5	1,78	230 ± 10	
Areia IPT		5,3	1,77	230 ± 10	

Fonte: Adaptado de Bavaresco (2001), Lovato e Menegatti (2015), Neno (2010), Oliveira e Cabral (2011), Silva (2014), Silva e Campiteli (2008).

Continuação da Tabela A4 – Resistência à compressão produzidos por diversos autores.

Tipo de agregado	Traço em massa	Resistência à compressão	Relação a/c	Consistência	Fonte
Misto (argamassa, cerâmico, concreto)		4,9	3,53	230 ± 10	
		4,1	3,06	230 ± 10	
		3,5	2,94	230 ± 10	
Misto (argamassa, concreto)	1:2:9 (cimento, cal e areia)	2,2	3,56	230 ± 10	Baravesco (2001)
		2,2	3,21	230 ± 10	
		2,3	2,91	230 ± 10	
Areia natural		2,4	2,49	230 ± 10	
Areia IPT		2,15	2,42	230 ± 10	
Areia natural		10,50	0,90	150	
Misto (argamassa, cerâmico, concreto)	1:6 (cimento, areia)	8,50	0,90	160	Silva (2014)
		10,00	0,90	145	
		10,80	0,90	145	
		15,80	0,90	144	
Areia natural		10,20	0,73	260 ± 10	
Misto (argamassa, cerâmico, concreto, rocha)	1:3 (cimento, areia)	12,40	0,74	260 ± 10	Oliveira e Cabral (2011)
		13,70	0,74	260 ± 10	
		10,50	0,75	260 ± 10	
		17,20	0,76	260 ± 10	
		11,30	0,76	260 ± 10	
Areia natural		3,91	1,21	176	
Areia natural e Concreto	1:4 (cimento e areia)	5,34	1,31	170	Neno (2010)
		5,15	1,30	178	
		7,38	1,27	170	
Areia natural	1:1:4 (cimento, cal, areia)	6,46	1,58	260	Silva e Campiteli (2008)
	1:1:6 (cimento, cal, areia)	2,87	2,16	270	
	1:1:8 (cimento, cal, areia)	1,64	2,74	265	
	1:2:6 (cimento, cal, areia)	1,79	2,74	265	
	1:2:9 (cimento, cal, areia)	0,91	3,38	270	
	1:2:12 (cimento, cal, areia)	0,42	4,45	280	

Fonte: Adaptado de Bavaresco (2001), Lovato e Menegatti (2015), Neno (2010), Oliveira e Cabral (2011), Silva (2014), Silva e Campiteli (2008).

Continuação da Tabela A4 – Resistência à compressão produzidos por diversos autores.

Tipo de agregado	Traço em massa	Resistência à compressão	Relação a/c	Consistência	Fonte
Areia natural	1:3:8 (cimento, cal, areia)	0,78	3,88	270	Silva e Campiteli (2008)
	1:3:12 (cimento, cal, areia)	0,39	4,92	265	
	1:3:16 (cimento, cal, areia)	0,25	6,12	260	
Areia britada	1:1:4 (cimento, cal, areia)	7,73	1,56	260	
	1:1:6 (cimento, cal, areia)	2,82	2,23	270	
	1:1:8 (cimento, cal, areia)	2,10	2,63	265	
	1:2:6 (cimento, cal, areia)	1,92	3,42	270	
	1:2:9 (cimento, cal, areia)	1,12	3,42	270	
	1:2:12 (cimento, cal, areia)	0,74	4,23	280	
	1:3:8 (cimento, cal, areia)	0,99	3,78	270	
	1:3:12 (cimento, cal, areia)	0,57	4,92	265	
	1:3:16 (cimento, cal, areia)	0,38	6,02	260	

Fonte: Adaptado de Bavaresco (2001), Lovato e Menegatti (2015), Neno (2010), Oliveira e Cabral (2011), Silva (2014), Silva e Campiteli (2008).

Tabela A5 – Levantamento de resultados de vários autores referentes à resistência de aderência à tração de revestimentos de argamassa contendo RCC.

Tipo de agregado	Resistência de Aderência à Tração (MPa)	Relação água/cimento	Substituição (%)	Base	Fonte
Areia natural	0,19	1,61	0	Bloco cerâmico	Lovato e Menegatti (2015)
Misto (argamassa, cerâmico, concreto)	0,20	1,46	50	Bloco cerâmico	

Fonte: Adaptado de Lovato e Menegatti (2015); Ledesma *et al.* (2014); Martinez *et al.* (2013); Jiménez *et al.* (2013); Lapa (2011); Oliveira e Cabral (2011); Silva *et al.* (2011); Neno (2010); Assunção, Carvalho e Barata (2007); Bavaresco (2001); Levy e Helene (1995).

Continuação da Tabela A5 – Levantamento de resultados de vários autores referentes à resistência de aderência à tração de revestimentos de argamassa contendo RCC.

Tipo de agregado	Resistência de Aderência à Tração (MPa)	Relação água/cimento	Substituição (%)	Base	Fonte
Misto (argamassa, cerâmico, concreto)	0,26	1,33	50	Bloco cerâmico	Lovato e Menegatti (2015)
Misto (argamassa, cerâmico, concreto)	0,30	1,88	50	Bloco cerâmico	
Misto (argamassa, cerâmico, concreto)	0,06	1,99	100	Bloco cerâmico	
Misto (argamassa, cerâmico, concreto)	0,12	1,85	100	Bloco cerâmico	
Misto (argamassa, cerâmico, concreto)	0,12	1,98	100	Bloco cerâmico	
Areia natural	0,53	1,08	0	-	Assunção, Carvalho e Barata (2007)
Misto (argamassa, cerâmico, concreto)	0,37	1,32	30	-	
Misto (cerâmico e cimento)	0,56	1,38	50	-	
Areia natural	0,22	1,78	0	Bloco cerâmico	Bavaresco (2001)
Cerâmico	0,26	2,31	100	Bloco cerâmico	
Areia natural	0,38	0,94	0	Laje de concreto	Jiménez <i>et al.</i> (2013)
Misto (argamassa, cerâmico)	0,37	0,96	5	Laje de concreto	

Fonte: Adaptado de Lovato e Menegatti (2015); Ledesma *et al.* (2014); Martinez *et al.* (2013); Jiménez *et al.* (2013); Lapa (2011); Oliveira e Cabral (2011); Silva *et al.* (2011); Neno (2010); Assunção, Carvalho e Barata (2007); Bavaresco (2001); Levy e Helene (1995).

Continuação da Tabela A5 – Levantamento de resultados de vários autores referentes à resistência de aderência à tração de revestimentos de argamassa contendo RCC.

Tipo de agregado	Resistência de Aderência à Tração (MPa)	Relação água/cimento	Substituição (%)	Base	Fonte
Misto (argamassa, cerâmico)	0,45	0,98	10	Laje de concreto	Jiménez <i>et al.</i> (2013)
Misto (argamassa, cerâmico)	0,39	1,05	20	Laje de concreto	
Misto (argamassa, cerâmico)	0,44	1,13	40	Laje de concreto	
Areia natural	-	1,87	0	Bloco cerâmico	Lapa (2011)
Misto (argamassa, cerâmico)	0,64	1,87	64	Bloco cerâmico	
Areia natural	0,38	0,94	0	Laje de concreto	Ledesma <i>et al.</i> (2014)
Concreto	0,40	0,96	5	Laje de concreto	
Concreto	0,58	0,97	10	Laje de concreto	
Concreto	0,50	1,02	20	Laje de concreto	
Concreto	0,34	1,07	40	Laje de concreto	
Cerâmico	0,24	2,39	100	Bloco cerâmico	Levy e Helene (1995)
Misto (argamassa, concreto)	0,30	1,87	100	Bloco concreto	
Misto (argamassa, cerâmico)	0,33	2,18	100	Bloco concreto	
Misto (argamassa, cerâmico)	0,17	2,18	100	Bloco concreto	Martinez <i>et al.</i> (2013)
Areia natural	0,45	1,30	0	Bloco concreto	
Cerâmico	0,40	1,77	100	Bloco concreto	

Fonte: Adaptado de Lovato e Menegatti (2015); Ledesma *et al.* (2014); Martinez *et al.* (2013); Jiménez *et al.* (2013); Lapa (2011); Oliveira e Cabral (2011); Silva *et al.* (2011); Neno (2010); Assunção, Carvalho e Barata (2007); Bavaresco (2001); Levy e Helene (1995).

Continuação da Tabela A5 – Levantamento de resultados de vários autores referentes à resistência de aderência à tração de revestimentos de argamassa contendo RCC.

Tipo de agregado	Resistência de Aderência à Tração (MPa)	Relação água/cimento	Substituição (%)	Base	Fonte
Concreto	0,28	1,39	100	Bloco concreto	Martinez <i>et al.</i> (2013)
Misto (argamassa, cerâmico)	0,32	1,79	100	Bloco concreto	
Areia natural	0,33	1,21	0	Bloco cerâmico	Neno (2010)
Concreto	0,27	1,31	20	Bloco cerâmico	
Areia natural	0,22	0,73	0	Bloco cerâmico	Oliveira e Cabral (2011)
Misto (argamassa, cerâmico, concreto)	0,26	0,74	10	Bloco cerâmico	
Misto (argamassa, cerâmico, concreto)	0,42	0,74	20	Bloco cerâmico	
Misto (argamassa, cerâmico, concreto)	0,26	0,75	30	Bloco cerâmico	
Misto (argamassa, cerâmico, concreto)	0,80	0,76	40	Bloco cerâmico	
Misto (argamassa, cerâmico, concreto)	0,37	0,76	50	Bloco cerâmico	Silva <i>et al.</i> (2011)
Areia natural	-	1,30	0	-	
Misto (argamassa, cerâmico)	0,21	1,97	75	Bloco cerâmico	
Misto (argamassa, cerâmico)	0,14	2,35	75	Bloco cerâmico	

Fonte: Adaptado de Lovato e Menegatti (2015); Ledesma *et al.* (2014); Martinez *et al.* (2013); Jiménez *et al.* (2013); Lapa (2011); Oliveira e Cabral (2011); Silva *et al.* (2011); Neno (2010); Assunção, Carvalho e Barata (2007); Bavaresco (2001); Levy e Helene (1995).

Conclusão da Tabela A5 – Levantamento de resultados de vários autores referentes à resistência de aderência à tração de revestimentos de argamassa contendo RCC.

Tipo de agregado	Resistência de Aderência à Tração (MPa)	Relação água/cimento	Substituição (%)	Base	Fonte
Misto (argamassa, cerâmico)	0,10	2,35	75	Bloco cerâmico	Silva <i>et al.</i> (2011)
Misto (argamassa, cerâmico)	0,10	2,20	75	Bloco cerâmico	
Misto (argamassa, cerâmico)	0,06	1,97	75	Bloco cerâmico	
Misto (argamassa, cerâmico)	0,05	2,20	75	Bloco cerâmico	
Misto (argamassa, cerâmico)	0,09	2,68	100	Bloco cerâmico	
Misto (argamassa, cerâmico)	0,06	2,56	100	Bloco cerâmico	

Fonte: Adaptado de Lovato e Menegatti (2015); Ledesma *et al.* (2014); Martinez *et al.* (2013); Jiménez *et al.* (2013); Lapa (2011); Oliveira e Cabral (2011); Silva *et al.* (2011); Neno (2010); Assunção, Carvalho e Barata (2007); Bavaresco (2001); Levy e Helene (1995).

Tabela A6 – Módulos de elasticidade dinâmico produzidos por diversos autores.

Tipo de agregado	Traço em massa	Módulo de elasticidade dinâmico (GPa)	Relação a/c	Consistência	Fonte
Cerâmico		1,20	3,15	305	Levy e Helene (1997)
Misto (argamassa, cerâmico)	1:3:8 (cimento:entulho:areia)	1,10	3,03	312	
Argamassa		1,00	3,02	308	
Cerâmico		2,30	2,10	322	
Misto (argamassa, cerâmico)	1:1,5:6 (cimento:entulho:areia)	2,50	2,13	335	
Argamassa		1,40	2,09	330	
Cerâmico		2,50	3,37	283	
Misto (argamassa, concreto e cerâmico)	1:1:8 (cimento:cal:areia)	2,20	2,93	282	Miranda (2005)
		2,50	2,75	292	
		1,80	2,60	283	
		2,20	2,43	289	

Fonte: Adaptado de Levy e Helene (1997), Miranda (2005) e Silva e Campiteli (2008).

Continuação da Tabela A6 – Módulos de elasticidade dinâmico produzidos por diversos autores.

Tipo de agregado	Traço em massa	Módulo de elasticidade dinâmico (GPa)	Relação a/c	Consistência	Fonte
Misto (argamassa, concreto e cerâmico)		1,40	2,33	271	Miranda (2005)
	1:1:8	3,00	2,25	290	
Misto (argamassa e concreto)	(cimento:cal:areia)	2,10	1,84	289	
Argamassa		2,10	1,74	312	
Concreto		2,00	2,00	290	
Areia natural	1:1:4 (cimento, cal, areia)	8,05	1,58	260	Silva e Campitelli (2008)
	1:1:6 (cimento, cal, areia)	4,11	2,16	270	
	1:1:8 (cimento, cal, areia)	3,09	2,74	265	
	1:2:6 (cimento, cal, areia)	2,29	2,74	265	
	1:2:9 (cimento, cal, areia)	1,49	3,38	270	
	1:2:12 (cimento, cal, areia)	0,98	4,45	280	
	1:3:8 (cimento, cal, areia)	1,31	3,88	270	
	1:3:12 (cimento, cal, areia)	0,77	4,92	265	
	1:3:16 (cimento, cal, areia)	0,67	6,12	260	
	Areia britada	1:1:4 (cimento, cal, areia)	9,81	1,56	
1:1:6 (cimento, cal, areia)		4,23	2,23	270	
1:1:8 (cimento, cal, areia)		3,39	2,63	265	
1:2:6 (cimento, cal, areia)		2,41	3,42	270	
1:2:9 (cimento, cal, areia)		1,78	4,23	270	
1:2:12 (cimento, cal, areia)		1,46	3,78	280	
1:3:8 (cimento, cal, areia)		1,66	4,92	270	

Fonte: Adaptado de Levy e Helene (1997), Miranda (2005) e Silva e Campitelli (2008).

Conclusão da Tabela A6 – Módulos de elasticidade dinâmico produzidos por diversos autores.

Tipo de agregado	Traço em massa	Módulo de elasticidade dinâmico (GPa)	Relação a/c	Consistência	Fonte
Areia britada	1:3:12 (cimento, cal, areia)	1,28	6,02	265	Silva e Campiteli (2008)
	1:3:16 (cimento, cal, areia)	1,08		260	

Fonte: Adaptado de Levy e Helene (1997), Miranda (2005) e Silva e Campiteli (2008).

Tabela A7 – Resultados de ensaios de resistência à tração na flexão.

Etapa	Traço	Idade (dias)	CP	Carga (N)	Resistência (MPa)
Contrapiso	Referência	7	1	1083,0	2,54
			2	460,0	1,08
			3	1362,0	3,19
		28	1	1458,9	3,42
			2	1448,7	3,40
			3	979,4	2,30
	25% de substituição	7	1	1424,0	3,34
			2	1166,0	2,73
			3	1506,0	3,53
		28	1	1061,0	2,49
			2	1979,2	4,64
			3	1418,1	3,32
	50% de substituição	7	1	1279,0	3,00
			2	1258,0	2,95
			3	1093,0	2,56
		28	1	1928,2	4,52
			2	2091,4	4,90
			3	-	-
Emboço interno	Referência	7	1	1062,0	2,49
			2	1052,0	2,47
			3	1186,0	2,78
		28	1	1356,9	3,18
			2	1540,5	3,61
			3	1367,1	3,20
	25% de substituição	7	1	1207,0	2,83
			2	1300,0	3,05
			3	1145,0	2,68
		28	1	1744,6	4,09
			2	1448,7	3,40
			3	1530,3	3,59

Fonte: Próprio autor (2018).

Continuação da Tabela A7 – Resultados de ensaios de resistência à tração na flexão.

Etapa	Traço	Idade (dias)	CP	Carga (N)	Resistência (MPa)		
Emboço interno	50% de substituição	7	1	980,0	2,30		
			2	1248,0	2,93		
			3	1052,0	2,47		
		28	1	1428,3	3,35		
			2	1638,4	3,84		
			3	-	-		
		Referência		7	1	918,0	2,15
					2	1248,0	2,93
					3	805,0	1,89
28	1			2050,6	4,81		
	2			1867,0	4,38		
	3			1642,5	3,85		
Emboço externo	25% de substituição			7	1	629,0	1,47
					2	794,0	1,86
					3	836,0	1,96
		28	1	2040,4	4,78		
			2	1571,1	3,68		
			3	-	-		
		50% de substituição		7	1	753,0	1,76
					2	660,0	1,55
					3	671,0	1,57
28	1			1224,3	2,87		
	2			1499,7	3,51		
	3			1714,0	4,02		

Fonte: Próprio autor (2018).

Tabela A8 – Análise de variância de resistência à tração na flexão aos 7 dias para traços de contrapiso.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Significância
Teor de substituição	0,491491	2	0,245746	2,838775	0,17084	6,944272	NS
Erro	0,34627	4	0,086567				
Total	0,837761	6					

Fonte: Próprio autor (2018).

Tabela A9 – Análise de variância de resistência à tração na flexão aos 28 dias para traços de contrapiso.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Significância
Teor de substituição	2,552506	2	1,276253	8,159329	0,019429	5,143253	S
Erro	0,938498	6	0,156416				
Total	3,491005	8					

Fonte: Próprio autor (2018).

Tabela A10 – Análise de variância de resistência à tração na flexão aos 7 dias para traços de emboço interno.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Significância
Teor de substituição	0,282531	2	0,141266	4,920845	0,065874	5,786135	NS
Erro	0,143538	5	0,028708				
Total	0,426069	7					

Fonte: Próprio autor (2018).

Tabela A11 – Análise de variância de resistência à tração na flexão aos 28 dias para traços de emboço interno.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Significância
Teor de substituição	0,207388	2	0,103694	1,257295	0,349915	5,143253	NS
Erro	0,494844	6	0,082474				
Total	0,702232	8					

Fonte: Próprio autor (2018).

Tabela A12 – Análise de variância de resistência à tração na flexão aos 7 dias para traços de emboço externo.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Significância
Teor de substituição	0,184199	2	0,092099	2,361753	0,189613	5,786135	NS
Erro	0,194981	5	0,038996				
Total	0,379179	7					

Fonte: Próprio autor (2018).

Tabela A13 – Análise de variância de resistência à tração na flexão aos 28 dias para traços de emboço externo.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Significância
Teor de substituição	0,684281	2	0,34214	1,246211	0,403679	9,552094	NS
Erro	0,823634	3	0,274545				
Total	1,507915	5					

Fonte: Próprio autor (2018).

Tabela A14 – Resultados de ensaios de resistência à compressão.

Etapa	Traço	Idade (dias)	CP	Carga (N)	Resistência (MPa)
Contrapiso	Referência	7	1	14452	9,0
			2	14039	8,8
			3	15195	9,5
			4	14060	8,8
			5	14792	9,2
			6	14194	8,9

Fonte: Próprio autor (2018).

Continuação da Tabela A14 – Resultados de ensaios de resistência à compressão.

Etapa	Traço	Idade (dias)	CP	Carga (N)	Resistência (MPa)	
Contrapiso	Referência	28	1	18190	11,4	
			2	17874	11,2	
			3	18823	11,8	
			4	17446	10,9	
			5	17038	10,6 ¹	
			6	18578	11,6	
Contrapiso	25% de substituição	7	1	17443	10,9	
			2	10687	6,7 ¹	
			3	17577	11,0	
			4	16680	10,4	
			5	16040	10,0 ¹	
			6	16876	10,5	
	28	1	1	18415	11,5	
			2	15579	9,7 ¹	
			3	15160	9,5 ¹	
			4	14507	9,1 ¹	
			5	22384	14,0	
			6	20323	12,7	
		50% de substituição	7	1	17392	10,9 ¹
				2	16236	10,1
				3	14947	9,3 ¹
				4	16721	10,5
				5	16493	10,3
				6	16505	10,3
28	1	1	20955	13,1 ¹		
		2	22679	14,2		
		3	20435	12,8 ¹		
		4	22822	14,3		
		5	22557	14,1		
		6	22904	14,3		
Emboço interno	Referência	7	1	12636	7,9	
			2	13204	8,3	
			3	12709	7,9	
			4	13358	8,3	
			5	13761	8,6	
			6	13348	8,3	
	28	1	1	16987	10,6	
			2	17395	10,9	
			3	14610	9,1 ¹	
			4	13946	8,7 ¹	
			5	14436	9,0	
			6	15997	10,0	

¹ Valor espúrio.

Fonte: Próprio autor (2018).

Continuação da Tabela A14 – Resultados de ensaios de resistência à compressão.

Etapa	Traço	Idade (dias)	CP	Carga (N)	Resistência (MPa)
Emboço interno	25% de substituição	7	1	12379	7,7
			2	10460	6,5 ¹
			3	12327	7,7
			4	13204	8,3
			5	12636	7,9
			6	12183	7,6
		28	1	19680	12,3
			2	19874	12,4
			3	16905	10,6 ¹
			4	20506	12,8
			5	17895	11,2
			6	17731	11,1 ¹
	50% de substituição	7	1	13637	8,5
			2	12544	7,8
			3	12688	7,9
			4	12533	7,8
			5	12966	8,1
			6	13431	8,4
		28	1	16670	10,4 ¹
			2	18395	11,5
			3	18843	11,8
			4	20598	12,9
			5	20833	13,0
			6	16772	10,5 ¹
Emboço externo	Referência	7	1	8490	5,3 ¹
			2	10563	6,6
			3	11068	6,9
			4	10573	6,6
			5	11089	6,9
			6	10965	6,9
		28	1	16038	10,0 ¹
			2	17742	11,1
			3	15762	9,9 ¹
			4	16711	10,4
			5	17701	11,1
			6	17752	11,1
	25% de substituição	7	1	10728	6,7
			2	10109	6,3
			3	10047	6,3
			4	10646	6,7
			5	9944	6,2
			6	11481	7,2 ¹

¹ Valor espúrio.

Fonte: Próprio autor (2018).

Conclusão da Tabela A14 – Resultados de ensaios de resistência à compressão.

Etapa	Traço	Idade (dias)	CP	Carga (N)	Resistência (MPa)
Emboço externo	25% de substituição	28 dias	1	14824	9,3 ¹
			2	16721	10,5
			3	17038	10,6
			4	16058	10,0
			5	15018	9,4 ¹
			6	15946	10,0
	50% de substituição	7	1	9470	5,9
			2	9459	5,9
			3	9449	5,9
			4	9253	5,8
			5	8376	5,2
			6	9109	5,7
		28	1	12273	7,7 ¹
			2	14130	8,8 ¹
			3	12865	8,0
			4	12334	7,7 ¹
			5	14477	9,0
			6	15385	9,6

¹ Valor espúrio.

Fonte: Próprio autor (2018).

Tabela A15 – Análise de variância de resistência à compressão aos 7 dias para traços de contrapiso.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Significância
Teor de substituição	7,8013	2	3,900652	63,10987	9,37E-07	3,982298	S
Erro	0,6799	11	0,061807				
Total	8,4812	13					

Fonte: Próprio autor (2018).

Tabela A16 – Análise de variância de resistência à compressão aos 28 dias para traços de contrapiso.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Significância
Teor de substituição	18,061	2	9,030421	22,72776	0,000303	4,256495	S
Erro	3,576	9	0,39733				
Total	21,637	11					

Fonte: Próprio autor (2018).

Tabela A17 – Análise de variância de resistência à compressão aos 7 dias para traços de emboço interno.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Significância
Teor de substituição	0,42405	2	0,21202	2,84270	0,09202	3,73889	NS
Erro	1,04420	14	0,07459				
Total	1,46825	16					

Fonte: Próprio autor (2018).

Tabela A18 – Análise de variância de resistência à compressão aos 28 dias para traços de emboço interno.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Significância
Teor de substituição	11,886	2	5,942837	10,15435	0,004927	4,256495	S
Erro	5,267	9	0,58525				
Total	17,153	11					

Fonte: Próprio autor (2018).

Tabela A19 – Análise de variância de resistência à compressão aos 7 dias para traços de emboço externo.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Significância
Teor de substituição	3,121594	2	1,56080	30,5942	1,21E-5	3,80557	S
Erro	0,66321	13	0,05102				
Total	3,784804	15					

Fonte: Próprio autor (2018).

Tabela A20 – Análise de variância de resistência à compressão aos 28 dias para traços de emboço externo.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Significância
Teor de substituição	5,32525	2	2,66263	22,2753	0,00054	4,45897	S
Erro	0,95626	8	0,11953				
Total	6,28151	10					

Fonte: Próprio autor (2018).

Tabela A21 – Análise de variância da densidade de massa aparente no estado endurecido para traços de contrapiso.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Significância
Teor de substituição	6692,008	2	3346,004	7,635886	0,030213	5,786135	S
Erro	2190,973	5	438,1946				
Total	8882,981	7					

Fonte: Próprio autor (2018).

Tabela A22 – Análise de variância da densidade de massa aparente no estado endurecido para traços de emboço interno.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Significância
Teor de substituição	2179,048	2	1089,524	0,797574	0,492998	5,143253	NS
Erro	8196,286	6	1366,048				
Total	10375,33	8					

Fonte: Próprio autor (2018).

Tabela A23 – Análise de variância da densidade de massa aparente no estado endurecido para traços de emboço externo.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Significância
Teor de substituição	9530,042	2	4765,021	1,491553	0,310453	5,786135	NS
Erro	15973,36	5	3194,672				
Total	25503,4	7					

Fonte: Próprio autor (2018).

Tabela A24 – Análise de variância do módulo de elasticidade dinâmico para traços de contrapiso.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Significância
Teor de substituição	4,263063	2	2,131532	7,046541	0,035094	5,786135	S
Erro	1,512467	5	0,302493				
Total	5,77553	7					

Fonte: Próprio autor (2018).

Tabela A25 – Análise de variância do módulo de elasticidade dinâmico para traços de emboço interno.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Significância
Teor de substituição	5,097954	2	2,458977	7,66031	0,022287	5,143253	S
Erro	1,996507	6	0,332751				
Total	7,094461	8					

Fonte: Próprio autor (2018).

Tabela A26 – Análise de variância do módulo de elasticidade dinâmico para traços de emboço externo.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Significância
Teor de substituição	1,417605	2	0,708803	0,923701	0,455628	5,786135	NS
Erro	3,836755	5	0,767351				
Total	5,25436	7					

Fonte: Próprio autor (2018).

Tabela A27 – Resultados de ensaio de permeabilidade.

Teor de substituição	Emboço interno		Emboço externo	
	Medida 1 (ml)	Medida 2 (ml)	Medida 1 (ml)	Medida 2 (ml)
Referência	0,5	0,7	1,1	1,2
25% de substituição	0,4	0,9	1,1	1,2
50% de substituição	1,6	1,1	0,8	1,4

Fonte: Próprio autor (2018).

Tabela A28 – Resultados de ensaios de resistência de aderência à tração.

Traço	Teor de substituição	Amostra	Carga (kgf)	Resistência (MPa)	Tipo de Ruptura	Resistência Média
	Referência	1	52,0	0,26	F	0,25
		2	53,0	0,27	F	
		3	25,0	0,13	F	
		4	28,2	0,14	F	
		5	40,0	0,20	F	
		6	30,0	0,15	F	
		7	31,0	0,16	E	
		8	39,0	0,20	F	
		9	50,0	0,25	F	
		10	84,0	0,43	B	
		11	85,0	0,43	F	
		12	80,0	0,41	E	
Contrapiso	25% de substituição	1	3,5	0,02	B	0,22
		2	39,0	0,20	B	
		3	46,0	0,23	B	
		4	39,4	0,24	B	
		5	39,4	0,20	B	
		6	12,9	0,07	B	
		7	6,6	0,03	B	
		8	13,3	0,07	B	
		9	15,8	0,08	B	
		10	7,3	0,04	B	
		11	41,0	0,21	B	
		12	42,0	0,21	B	
	50% de substituição	1	0	0,00	E	0,22
		2	1,2	0,01	B	
		3	40,0	0,20	E	
		4	1,5	0,01	B	
		5	42,4	0,22	E	
		6	2,2	0,01	B	
		7	42,4	0,22	E	
		8	27,8	0,14	E	
		9	5,1	0,03	B	
		10	11,9	0,06	B	

Fonte: Próprio autor (2018).

Continuação da Tabela A28 – Resultados de ensaios de resistência de aderência à tração.

Traço	Teor de substituição	Amostra	Carga (kgf)	Resistência (MPa)	Tipo de Ruptura	Resistência Média	
Contrapiso	50% de substituição	11	16,3	0,08	B	0,22	
		12	56,0	0,29	B		
	Referência		1	66,2	0,34	B	0,25
			2	5,3	0,03	B	
			3	13,4	0,07	B	
			4	8,0	0,04	B	
			5	26	0,13	B	
			6	6,3	0,03	B	
			7	26,0	0,13	B	
			8	13,5	0,07	B	
			9	46	0,23	B	
			10	48,9	0,25	B	
11			55,6	0,28	B		
12			68,2	0,35	B		
Emboço interno	25% de substituição	1	130,4	0,66	D	0,29	
		2	95,3	0,49	B		
		3	39,1	0,20	D		
		4	54,7	0,28	B		
		5	87,4	0,45	B		
		6	49,5	0,25	G		
		7	34,1	0,17	G		
		8	58,4	0,30	G		
		9	23,8	0,12	A		
		10	66,2	0,34	D		
		11	40,5	0,21	B		
		12	14,1	0,07	B		
50% de substituição		1	55,5	0,28	B	0,28	
		2	66,4	0,34	D		
		3	48,1	0,25	D		
		4	31,8	0,16	B		
		5	51,4	0,26	D		
		6	90,4	0,46	B		
		7	93,9	0,48	B		
		8	40,7	0,21	B		
		9	38,1	0,19	B		
		10	39,1	0,20	B		
		11	64,3	0,33	D		
		12	47,6	0,24	B		
Emboço externo	Referência	1	50,9	0,26	B	0,20	
		2	49,9	0,25	E		
		3	44,4	0,23	B		
		4	42,4	0,22	B		
		5	36,9	0,19	B		

Fonte: Próprio autor (2018).

Conclusão da Tabela A28 – Resultados de ensaios de resistência de aderência à tração.

Traço	Teor de substituição	Amostra	Carga (kgf)	Resistência (MPa)	Tipo de Ruptura	Resistência Média			
Emboço externo	Referência	6	33,5	0,17	B	0,20			
		7	32,9	0,17	B				
		8	24,3	0,12	B				
		9	0	0,00	B				
		10	10,0	0,05	B				
		11	13,0	0,07	B				
		12	17,0	0,09	B				
		Emboço externo	25% de substituição	1	9,9		0,05	E	0,20
				2	33,0		0,17	B	
				3	25,3		0,13	B	
				4	36		0,18	B	
				5	13,1		0,07	C	
6	24,7			0,13	B				
7	71,5			0,36	B				
8	42,7			0,22	B				
9	9,6			0,05	B				
10	23,5			0,12	B				
11	58,2			0,30	B				
12	20,2			0,10	E				
Emboço externo	50% de substituição	1	72,7	0,37	B	0,28			
		2	29,7	0,15	D				
		3	47,9	0,24	B				
		4	79,7	0,41	B				
		5	75,5	0,38	B				
		6	91,8	0,47	B				
		7	64,8	0,33	B				
		8	28,8	0,15	B				
		9	23,1	0,12	B				
		10	50,6	0,26	B				
		11	78,8	0,40	B				
		12	25,0	0,13	B				

Fonte: Próprio autor (2018).

Tabela A29 – Análise de variância da resistência de aderência à tração para traço de contrapiso.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Significância
Teor de substituição	0,00646	2	0,00323	0,35395	0,70644	3,52189	NS
Erro	0,17344	19	0,00913				
Total	0,17990	21					

Fonte: Próprio autor (2018).

Tabela A30 – Análise de variância da resistência de aderência à tração para traço de emboço interno.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Significância
Teor de substituição	0,01108	2	0,00554	0,32966	0,72193	3,34039	NS
Erro	0,47058	28	0,01681				
Total	0,48166	30					

Fonte: Próprio autor (2018).

Tabela A31 – Análise de variância da resistência de aderência à tração para traço de emboço externo.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Significância
Teor de substituição	0,04741	2	0,02371	2,43576	0,10803	3,38519	NS
Erro	0,24332	25	0,00973				
Total	0,29073	27					

Fonte: Próprio autor (2018).