

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO
PRODUZIDAS COM RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO COMO
AGREGADO**

**EVALUATION OF THE PROPERTIES OF COATING MORTARS PRODUCED
WITH CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE AS AGGREGATE**

Edvar de Sousa Mendonça Neto
Fernando Marques de Gouvêa Junior
Lucas Machado Ramos
Hugo Medeiros de Oliveira

RESUMO

A atividade da construção civil apresenta grandes parâmetros de crescimento no Brasil e consigo concebe muitos benefícios econômicos para o país, portanto resultam em uma vasta quantidade de resíduos chamados de resíduos de construção civil (RCC) e Resíduos de Construção e Demolição (RCD), que disposto e descartado de maneira inadequada como é feito ocasiona diversos impactos ambientais nas cidades, na qual aumentam rapidamente os aterros sanitários públicos que não apresentam nenhuma aplicabilidade. Analisando as características dos trabalhos já publicados, pode-se observar a grande aplicabilidade desses resíduos da construção civil em produção de argamassa dentro da própria atividade, viabilizando assim o início da utilização desse método no canteiro de obra e conseqüentemente diminuindo os grandes impactos ambientais gerados. O trabalho tem como objetivo apresentar uma análise comparativa de diferentes autores e de corpos de prova com diferentes porcentagens de resíduos, como 25%, 30%, 50% e 75% e assim apresentar um gráfico comparativo dos resultados.

Palavras chaves: Argamassa. Resíduos. Construção civil. Demolição. Impactos ambientais.

ABSTRACT

The activity of civil construction presents great growth parameters in Brazil and can conceive many economic benefits for the country, therefore they result in a vast amount of waste called construction waste (RCC) and Construction and Demolition Waste (RCD), which improperly disposed and disposed of as it is done, causes several environmental impacts in cities, in which public landfills that do not have any applicability rapidly increase. Analyzing the characteristics of the works already published, one can observe the wide applicability of these residues from civil construction in the production of mortar within the activity itself, thus enabling the beginning of the use of this method at the construction site and consequently reducing the great environmental impacts generated. The work aims to present a

comparative analysis of different authors and specimens with different percentages of residues, such as 25%, 30%, 50% and 75% and thus present a comparative graph of the results.

Key words: Mortar. Waste. Civil construction. Demolition. Environmental impacts.

1 Introdução

A construção civil é umas das atividades mais antigas da humanidade e sempre foi executada de forma artesanal, entretanto é uma das atividades que gera maior quantidade de resíduos de diferentes naturezas. Atualmente é considerada umas das mais importantes para o desenvolvimento econômico e social, e conseqüentemente é uma das atividades que gera maiores impactos ambientais.

Antigamente, na sociedade primitiva os impactos ambientais ainda não eram considerados prejudiciais, pois a produção de resíduos era pequena, somente após o desenvolvimento tecnológico da revolução industrial, esse impacto começou a gerar preocupações levando o surgimento do termo desenvolvimento sustentável.

A atividade da construção civil não é somente uma vilã na questão de geração de resíduos, mas é também umas das que mais utiliza recursos naturais para sua finalidade, como por exemplo, areias e cascalhos que são obtidos da extração aluvial. Os impactos ambientais não são gerados apenas pelo que é produzido, mas também pelo que causa devido à retirada da matéria prima do ambiente, o que leva aos problemas ambientais futuros pela sua falta.

Segundo Pinto (1999), atualmente o Brasil gera, por ano, 0,52 toneladas de entulhos por habitante, o que representa de 50% a 61% da massa dos resíduos sólidos urbanos. Os resíduos provenientes das construções e demolições são responsáveis por aumentar cada vez mais os impactos ambientais. A excessiva geração desses resíduos e o seu descarte irregular, em grande parte das cidades brasileiras, acarretam a poluições do meio ambiente urbano. Como por exemplo, obstrução e contaminação de parte dos leitos dos rios, o aumento do fluxo de veículos em vias públicas, além da poluição do ar. Para John (2000) “a estimativa é um consumo de 9,4 ton./hab. ano de materiais de construção”.

Segundo as Resoluções nº 307 e nº 348 os resíduos da construção civil são classificados em quatro classes:

- Classe A são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação ou provenientes de solos de terraplanagem; componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; de processo de fabricação ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;
- Classe B são os resíduos recicláveis para outras destinações, como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros;
- Classe C são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso;
- Classe D são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde, oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

1.1 Objeto de estudo

Segundo John (2000) “Nenhuma sociedade poderá atingir o desenvolvimento sustentável sem que a construção civil, que lhe dá suporte, passe por profundas transformações”.

Atualmente este fato se tornou alvo de grandes preocupações de ambientalistas e vem sendo muito discutido e estudado para soluções sustentáveis, proporcionando cobranças na destinação destes resíduos e incentivando as políticas de reciclagem dos mesmos. Até o ano de 2002 não havia políticas públicas para resíduos de construção, porém em virtude da elevada geração de resíduos RCD (Resíduos de construção e Demolição) em 05 de Julho de 2002 entrou em vigor a resolução nº 307/2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002), que atribuiu ao construtor a responsabilidade pela destinação final dos resíduos, com o intuito de proporcionar benefícios sociais, econômicos e ambientais.

Desse modo, muito deve ser estudado para ser aplicado em canteiros de obras, mediante a responsabilidade e consciência da sociedade. Formas de utilização de resíduos de construção civil poderão ser aplicadas, como por exemplo,

o reaproveitamento dos resíduos de demolição RCD para confecção de argamassa de revestimento, além de outras finalidades de execução.

1.2 Objetivo geral

O objetivo principal da pesquisa é analisar e comparar características do uso de RCDs na confecção de argamassa de revestimento, visando apresentar sua viabilidade no canteiro de obra e conseqüentemente diminuindo os impactos ambientais gerados por eles.

1.3 Objetivo específico

Como objetivo específico:

- Fazer apresentação das principais características da argamassa de revestimento com uso dos RCDs;
- Fazer um comparativo de diferentes autores sobre o uso de RCDs, apresentando seus resultados e análises;
- Fazer uma análise da viabilidade no canteiro de obra.

1.4 Justificativa

Atualmente a construção civil é uma das áreas que mais cresce em todo o mundo e é considerada uma das mais importantes para o desenvolvimento econômico e social do país. É um dos setores da economia que mais emprega no Brasil.

Agopyan e John (2011, p. 13) afirmam que, “o desafio é fazer a economia evoluir, atendendo às expectativas da sociedade e mantendo o ambiente sadio para esta e para as futuras gerações”.

Conforme Marques Neto (2009) as quantidades de RCC produzidas atingem a sociedade em três grandes dimensões:

- Dimensão econômica: onde se refere aos custos de limpeza pública para remoção e aterramento dos resíduos. Estes serviços são executados pelos órgãos municipais, gerando custos mais elevados;

- Dimensão social: relaciona-se às pessoas que tem a catação como sua única atividade ou forma de sobrevivência, vivendo geralmente no entorno das áreas de deposição;
- Dimensão ambiental: se refere às áreas de deposição clandestina e irregular. Tais áreas, via de regra, são as mais vulneráveis da cidade (córregos, áreas de proteção ambiental áreas de mananciais, entre outras).

Pensando nisso, foram realizadas pesquisas, sobre o uso dos resíduos de demolição para a produção de argamassa de revestimento, e provando-se ser um método viável, o qual reduzem grande parte estes resíduos e assim evita que os mesmos sejam descartados de maneira inadequada.

2 Referencial teórico

Muitos estudos vêm sendo analisados no Brasil a respeito da utilização de Resíduos de Construção Civil (RCC) e Resíduos de Construção e Demolição (RCD) na construção civil, após a implantação da resolução do CONAMA. A resolução foi lançada em 05 de julho de 2002 com nº 307/2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente, que atribuiu ao construtor a responsabilidade pela destinação final dos resíduos, com o intuito de proporcionar benefícios sociais, econômicos e ambientais. A seguir são apresentados alguns trabalhos sobre o tema abordado.

Segundo Conti (2014) nos dias atuais têm-se uma grande necessidade em reciclar os resíduos sólidos urbanos, já que o consumo de matéria prima para a produção industrial está em constante crescimento. Buscam-se também soluções para destinação correta desses resíduos e a limitação da extração da matéria prima. Para Dias (2007), a reciclagem na construção civil pode gerar inúmeros benefícios, dentre eles a redução no consumo de recursos naturais não-renováveis, a redução de área necessária para aterro, pela minimização de volume de resíduos, a redução do consumo de energia durante o processo de produção, destacando-se a indústria de cimentos, redução da poluição.

Atualmente na Europa há um desperdício equivalente a 200 milhões de toneladas anuais entre concreto, pedras e recursos minerais valiosos o que seria suficiente para se construir uma rodovia com seis faixas de rolamento interligando as cidades de Roma e Londres. Segundo Marques Neto (2009) as quantidades de RCC

produzidas atingem a sociedade em três grandes dimensões. Dimensão econômica, dimensão social e dimensão ambiental.

Os problemas principais com este tipo de resíduo são os grandes volumes produzidos e à sua deposição irregular que na grande maioria dos municípios, são realizados nas margens dos rios, córregos ou em terrenos baldios, o que provoca o entupimento de tubulações de drenagem pública, o assoreamento de cursos d'água, diminuição da capacidade de vazão de bueiros e galerias. O descarte irregular desses resíduos é muito comum em todo o mundo. No Brasil, os números estimados para cinco cidades médias variam entre 10 e 47% do total gerado, (PINTO 1999).

Em um país em constante crescimento é inevitável uma grande produção de RCC o que é preocupante pela pequena quantidade deste material que é devidamente reciclado em relação ao montante gerado. Essa cultura da reciclagem traz grandes benefícios tanto para o meio ambiente quanto para a sociedade e deve ser implantado de forma gradativa, conscientizando gestores de empresas e trabalhadores das obras, buscando trazer dados promissores de países aonde à reciclagem chega a ter resultados satisfatórios.

Segundo Matos (2015) a indústria da construção civil é uma das atividades mais importantes para o desenvolvimento econômico e social do país, porém é uma grande vilã na produção de resíduos sólidos. A construção civil utiliza em torno de 20% a 50% dos recursos naturais, provocando assim um desequilíbrio ambiental, além de consumir cerca de 80% da energia para produção e transporte desses materiais. A construção civil é uma atividade responsável por aproximadamente 15% do produto interno bruto (PIB) brasileiro, ultrapassando R\$ 90 milhões por ano, além de gerar em torno de 62 empregos indiretos para cada 100 empregos diretos.

É notório que a indústria da construção civil influencia na grandiosidade da cadeia econômica do país, portanto é indispensável que a mesma não passe por uma mudança no desenvolvimento sustentável.

No Brasil a quantificação da produção de RCC e RCD se torna uma função um pouco mais complicada, pela quantidade de geradores informais existentes, para os quais os dados estatísticos são indisponíveis e podem ser considerado uma parcela importante dos RCD nos municípios. A média de produção de

resíduos em São Paulo, Rio de Janeiro e Salvador tem estimativas específicas na qual gira em torno de 0,49 kg por habitante, correspondente por 31% dos resíduos recolhidos. Segundo a ABRELPE (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos especiais, 2013) a produção foi em torno de 48% da massa total de RSU gerados neste ano.

A ABRELPE (2013) divulgou uma estimativa feita entre 2010 e 2013 das cinco regiões do Brasil (Norte, Centro-Oeste, Sul, Nordeste e Sudeste), sobre os RCD recolhidos pelo serviço público. Não incluindo RCD gerados por construção e demolição de obras privadas, os quais constituem a grande maioria desses resíduos.

Segundo Matos (2015), observa-se que em 2011 a coleta de RCD aumentou 7,2% em relação a 2010, em 2012 a coleta aumentou 5% em relação a 2011 e em 2013 a coleta aumentou 10,40% em relação a 2012, atingindo aproximadamente 37 milhões de toneladas em todo o Brasil. Sendo todo esse estudo de apenas coletas feitas pelos órgãos públicos, o que se tornam bastantes significativos.

Diante a toda essa mudança da sociedade pesquisadores, políticos governos e a própria sociedade estão voltando para uma realidade de redução, reaproveitamento e reciclagem de materiais, utilizando a legislação e suas diversas aplicabilidades, principalmente no ramo da construção civil. Além disso, a sociedade tem buscado cada dia mais economia e menores custos, o que leva a pensar cada vez mais nessa atitude. Porém Segundo Matos (2015) a grande dificuldade da implantação está no meio cultural, uma vez que existe a desconfiança entre construtores e clientes quanto o bom desempenho dos produtos gerados pelo mesmo. E também normativo, uma vez que as normas não asseguram a aceitação no mercado.

Segundo Assunção (2007) a deposição desordenada dos resíduos sólidos da construção e demolição produzidos pela construção civil é o causador dos principais problemas ambientais. Com a resolução nº 307/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002) que atribui responsabilidade ao construtor pela destinação final dos resíduos da construção civil, propõem o reaproveitamento desses resíduos.

Com esse intuito o trabalho visa avaliar as propriedades das argamassas de revestimento produzidas com a substituição de 30% e 50% de agregado reciclado e utilizou aditivo incorporador de ar em substituição da cal.

O autor utilizou cimento CP II Z 32 com composição química de acordo com a NBR 11578/1991 e caracterização físico mecânico e resistência à compressão de acordo com a NBR 7215/1996. Agregado miúdo como areia natural e reciclado, água e aditivo incorporador de ar. Onde os traços realizados foram de 1:5, 71 em massa.

A consistência atingiu um aumento no fator água/cimento em razão da finura dos agregados reciclados. O consumo de cimento foi avaliado com a aplicação do aditivo incorporador de ar para estimar o custo de produção da argamassa, o mesmo foi aplicado em menor quantidade nos traços com agregado reciclado por não influenciar nem na coesão nem na plasticidade. A resistência à compressão obteve valores consideráveis em relação ao traço de referência tanto nos 7 dias quanto nos 14 dias. A resistência à tração descrita na NBR 7222/1983 também apresentou valores significativos de 0,12 Mpa em relação ao traço de referência e 0,20 Mpa. A resistência de aderência à tração segundo a NBR 13749/1996 deve apresentar para paredes internas um valor de 0,20 Mpa e para paredes externas um valor de 0,30 Mpa, assim os traços de 30% apresentou uma média de 0,56 Mpa e o de 50% apresentou uma média de 0,36 Mpa.

Assim Assunção conclui que as argamassas produzidas com 50% de agregado reciclado apresentaram melhores resistências e trabalhabilidades. Tornando os resultados satisfatórios e minimizando assim os impactos ambientais provocados por esses resíduos.

Oliveira (2012) faz uma avaliação das propriedades da argamassa de revestimento produzida com RCD, com traços de 0%, 25%, 50% e 75% de agregado reciclado. Defendendo que a utilização de resíduos de construção e demolição é uma alternativa para destinação desse material que tanto cresce no Brasil a cada dia. As misturas foram produzidas com o traço 1:6 e o índice de consistência fixado em 295 ± 10 mm sendo avaliadas suas propriedades no estado fresco e no estado endurecido.

No estado fresco a argamassa deve possuir algumas propriedades, sendo a trabalhabilidade a principal delas. O que é muito difícil de ser avaliado, por que não depende apenas das características da argamassa, mas também da habilidade do pedreiro que está executando o serviço. Estão ligadas também à trabalhabilidade, a consistência, que deve ser mantida ao longo do tempo de aplicação e a retenção de água, quando sujeita a solicitações que provocam perda de água de assentamento, seja por evaporação ou absorção de água pela base (CARASEK, 2007).

No estado endurecido são estudadas propriedades como, a resistência à compressão, que é uma das mais avaliadas; A Resistência de aderência à tração, que depende da interação entre a argamassa e o material onde ela está sendo aplicada; A absorção de água por imersão, que através dela pode-se saber a quantidade de água que uma argamassa pode absorver e assim, determinar o local adequado a sua aplicação; E a retração por secagem que está associada com a variação de volume da pasta aglomerante e apresenta papel fundamental no desempenho das argamassas aplicadas, especialmente quanto à estanqueidade e à durabilidade (CARASEK, 2007).

Durante o estudo foram utilizados os seguintes materiais: Cimento Portland CP II Z – 32; Água; Agregado natural e Agregado reciclado de construção e demolição (RCD), com sua composição gravimétrica com os grãos acima de 38 mm, sendo ela composta por 86,2% de argamassa, 13% de cerâmica, 0,5% de concreto e 0,3% de outros materiais.

Em relação à retenção de água, pode-se observar através dos resultados, que quanto maior o teor de RCD, maior será a porcentagem de retenção de água. O que é inverso ao resultado obtido sobre a massa específica, onde a massa específica diminui à medida que a quantidade de RCD vai aumentando. Já para a resistência à compressão observa-se que quanto maior o teor de agregado reciclado maior será sua resistência. Para a resistência à tração, pode ser observado que não houve variação entre 25% e 50% (média de 0,6 Mpa para ambos) de agregado, porém houve um aumento considerável quando utilizado 75% (média de 1,0 Mpa). Nos testes para retração por secagem percebeu-se que houve um aumento em todas as argamassas, durante um período de 163 dias. Também foi possível perceber a perda de massa das argamassas neste mesmo período. As argamassas

com teores de agregado reciclado apresentaram retração maior que a argamassa de referência, ou seja, quanto maior o teor de substituição de agregado reciclado maior a retração por secagem. Pode-se observar também que quanto maior a quantidade de agregado reciclado na argamassa, maior foi a absorção de água por imersão e a absorção de água por capilaridade. Já em relação ao coeficiente de capilaridade houve um aumento no valor com a inserção do agregado reciclado. Porém, os teores 25% e 50% apresentaram o mesmo coeficiente.

Portanto, pode-se concluir que de forma geral, as propriedades da argamassa com agregado reciclado no estado fresco apresentaram um bom desempenho. E em seu estado endurecido o uso de agregado reciclado é viável para produção de argamassas. Os melhores desempenhos foram obtidos com o teor de 75% de RCD. Porém faz-se necessário um estudo que possa confirmar o comportamento quanto às propriedades físicas.

Segundo Rocha (2018), o crescimento desordenado dos centros urbanos, e a chegada de novas tecnologias, fez com que a reutilização de materiais evoluísse com o passar dos anos, sendo assim, a reciclagem e o reuso se tornaram métodos atuais sustentáveis de muito valor social e ambiental.

Com esse intuito o trabalho visa analisar a influência da mecânica de substituição total e parcial da reutilização de matérias, provindos da construção civil, como agregados miúdos na argamassa de revestimento, determinando a resistência à tração na flexão e resistência à compressão do material recolhido no canteiro de obra.

A pesquisa se desenvolveu na coleta de materiais na construção, passando por um processo de separação por triagem dos agregados e utilização da moagem por peneiramento. Os ensaios realizados utilizaram de areia de RCD em substituição da areia natural em uma porcentagem de 50% e 100%, seguindo os padrões de normas brasileiras.

O autor utilizou o cimento Votoran CPII-E-32, Cal Hidratada CHIII, além de água e a mistura de areia de RCD e areia natural de acordo com a norma 13.278 (ABNT, 2005), elaborando assim um traço com proporção 1:2:9, e realizou a

comparação de 3 argamassas de acordo com suas resistências à tração na flexão e à compressão.

As argamassas citadas pelo autor, foram testadas em ordem, com a primeira sendo utilizada 100% de areia vinda da moagem de RCD, a segunda foi utilizada areia 100% natural e a terceira argamassa, foi testada com 50% de areia natural e 50% de areia da moagem de RCD da construção civil.

Assim Rocha conclui que após resultados satisfatórios e superiores aos encontrados quando argamassa foi confeccionada com areia natural, foi que a utilização dos RCDs como agregado miúdo para argamassas de revestimentos e assentamentos, é aprovada, pois atenderam as normas regulamentadoras da ABNT.

3 Metodologia

A pesquisa é classificada como descritiva, com intuito de apresentar e analisar os resultados de diferentes autores sobre o tema e diferentes testes a respeito do uso de RCDs para confecção de argamassa de revestimento. Sendo analisados corpos de provas com diferentes dosagens.

Foi levada em consideração a pesquisa do autor Assunção (2007) e Oliveira (2012), onde pode ser comparadas características em diferentes dosagens do uso do material reciclado. Assunção utiliza corpos de prova com 30% e 50% e Oliveira corpos de prova com 25%, 50% e 75%.

O presente trabalho é uma revisão bibliográfica, onde foram realizadas buscas em artigos já publicados de diferentes autores sobre o tema de avaliação das propriedades das argamassas de revestimento produzidas com RCC e RCD, utilizando palavras chaves como argamassa, resíduos de construção civil (RCC) e resíduos de construção e demolição (RCD). O trabalho tem como função comparar as características abordadas pelos diferentes autores e realizar um gráfico comparativo entre as diferentes dosagens de 25%, 30%, 50% e 75%.

4 Resultados e discussões

4.1 Definição de argamassa

Como definição argamassa tem como propriedade de aderência e endurecimento, na qual é uma mistura homogênea de agregados miúdos inorgânicos, água, podendo conter aditivos ou não.

As argamassas de revestimento são empregadas no revestimento de alvenarias em paredes, muros ou em estruturas de concreto armado. Deve apresentar resistência à aderência e contribuir de forma importante para impermeabilidade, não apresentando assim função estrutural na edificação.

4.2 Materiais constituintes das argamassas

4.2.1 Cimento Portland

Segundo a NBR 5732 (ABNT, 1991), o cimento Portland é um pó fino que tem função de endurecimento em presença da água. Material essencial para confecção das argamassas e outras misturas na área da construção civil. De acordo com a quantidade pode-se analisar a retração e a aderência da base. Nos trabalhos analisados como estudo o cimento utilizado foi o CP II Z 32 na qual a composição química, física e mecânica.

4.2.2 Cal

A cal hidratada segundo o CSTB é um material que permite obter diferentes propriedades de acordo com a quantidade utilizada, como por exemplo, a plasticidade, a compacidade no estado fresco e a possibilidade de deformação com pouca fissuram quando endurecida. Nos trabalhos analisados a cal utilizada foi a CH-I.

4.2.3 Aditivo

Material utilizado para atingir determinadas características com maior eficiência.

4.2.4 Agregado miúdo

Pode ser a areia natural ou a areia reciclada, produzida por usinas de reciclagem capazes de atingirem a granulometria correta para utilização na construção civil, sendo utilizada na confecção das argamassas de revestimento.

4.2.5 Água

Material de elevada importância na mistura, gerando homogeneização dos materiais e levando os mesmos a atingirem características apropriadas na sua presença, sobretudo o cimento Portland.

4.3 Análise de resultados Assunção (2007)

De acordo com autor Assunção (2007), foi desenvolvido análise de resultados em três grupos, utilizando material agregado natural (areia natural) e agregado reciclado (areia reciclada) com RCC e RCD.

- Traço de referência com dosagem de 1:5,71 com substituição de nenhum material agregado reciclado.
- Traço AR30 com dosagem de 1:5,71, com substituição de 30% do material agregado natural.
- Traço AR50 com dosagem de 1:5,71, com substituição de 50% do material agregado natural.

O cimento utilizado para ensaio foi CP II Z 32 com as composições químicas de acordo com a NBR 11578/1991 e características físicas mecânicas e resistência à compressão de acordo com a NBR 7215/1996.

A areia natural utilizou-se da cidade de Santa Izabel do Pará.

O material reciclado utilizado para análise foi retirado de uma edificação da cidade de Belém, que passou pelo processo de triagem e reciclagem atingindo a granulométrica correta de acordo com a NBR7217/1987, na qual foram selecionados os grãos que passaram pela peneira de 4,8 milímetros e os que ficaram retidos na peneira de 0,15 milímetros. Atingindo assim um teor pulverulento de 17,86 conforme a NBR 7219/1996.

Para o Traço de referência foram utilizados 6 ml de aditivo incorporador de Ar e para os traços de 30% e 50% de agregado reciclado foi utilizado 3 ml de aditivo.

Nas análises de resultado, foram avaliadas as seguintes características apresentadas nas seções a seguir.

4.3.1 Análise da consistência

A consistência é uma propriedade indicadora de trabalhabilidade, onde a análise da propriedade foi realizada de acordo com a NBR 13276 (ABNT, 2005). Sendo capaz assim de analisar e comparar a consistência em argamassas produzidas com areia natural e areia reciclada.

Observa-se que os traços com agregados reciclados alcançaram aumento do fator água/aglomerante em razão da finura dos agregados, com relação à amostra de referência. O traço 01 de referência apresentou um fator água/cimento de 1,08 quando o traço 02 mostrou-se um fator de 1,32 e o traço 03 apresentou-se um fator de 1,38. Demonstrando assim um aumento de 0,30 no fator água/cimento.

4.3.2 Teor de ar incorporado

O teor de Ar Incorporado é um aditivo que tem como função base de avaliação do consumo de cimento na confecção. Tem como base analisar o consumo de cimento, possibilitando estimar o custo da argamassa. Utiliza-se um valor menor de aditivo incorporador de ar nos corpos de provas com agregado reciclado, por não influenciar nem na coesão e nem na plasticidade da argamassa. As quantidades de ar incorporado nas argamassas foram: traço 01 uma média de 20%, no traço 02 uma média de 13,50% e no traço 03 uma média de 10,25% apresentando uma redução de 9,75% de ar incorporado na confecção das argamassas com agregado reciclado.

4.3.3 Resistência à compressão

As argamassas de revestimento devem resistir pequenos esforços de compressão axial. De acordo com a pesquisa de Assunção pode-se observar os seguintes resultados de laboratório.

Com 07 dias o traço 01 de referência apresentou um maior resultado de 4,43 Mpa, o traço 02 com 30% de agregado reciclado apresentou um maior resultado de 4,58 Mpa e o traço de 50% de agregado reciclado apresentou um maior resultado de 6,98 Mpa.

Com 14 dias o traço 01 de referência apresentou um maior resultado de 4,97 Mpa, o traço 02 com 30% de agregado reciclado apresentou um maior resultado de 5,70 Mpa e o traço de 50% de agregado reciclado apresentou um maior resultado de 8,10 Mpa.

De acordo com os dados acima apresentado observa-se que a argamassa de revestimento produzida com 50% de agregados miúdos reciclados atingiu valores consideráveis em relação ao traço de referência.

4.3.4 Resistência à tração

Foi desenvolvida de acordo com a NBR 7222/1983, onde a solicitação à tração tem uma ordem de grandeza maior nas argamassas de revestimento. Assunção atingiu os seguintes resultados:

Com 07 dias o traço 01 de referência apresentou um maior resultado de 0,46 Mpa, o traço 02 com 30% de agregado reciclado apresentou um maior resultado de 0,58 Mpa e o traço de 50% de agregado reciclado apresentou um maior resultado de 0,75 Mpa.

Com 14 dias o traço 01 de referência apresentou um maior resultado de 0,63 Mpa, o traço 02 com 30% de agregado reciclado apresentou um maior resultado de 0,77 Mpa e o traço de 50% de agregado reciclado apresentou um maior resultado de 0,83 Mpa.

4.3.5 Resistência de aderência à tração

A resistência de aderência à tração avalia a capacidade das argamassas suportarem esforços normais de tração. Os resultados deste ensaio seguem as normas 13528/1995. De acordo com os dados de 14 dias o traço 01 de referência apresentou uma média de resultado de 0,53 Mpa, o traço 02 com 30% de agregado reciclado apresentou uma média de resultado de 0,56 Mpa e o traço de 50% de agregado reciclado apresentou uma média de resultado de 0,36 Mpa, onde pode se

observa que o traço com 50% de RCD não apresentou um aumento da resistência de aderência à tração em relação à média calculada.

4.4 Análise de resultados Oliveira (2012)

Oliveira (2012) realizou testes com traços de 25%, 50% e 75% e apresentou-se um acréscimo de 28% de resistência aderência no traço de 75%. Lima (2005) estudou traços de 0% e 100% de agregado reciclado e verificou-se que houve um aumento na resistência de aderência no corpo de 100% de RCD. Porém pode-se afirmar segundo diversos estudos que traço com uso de resíduos reciclado aumenta resistência à aderência principalmente traço acima de 50% da sua substituição.

De acordo com a autora Oliveira, foi realizado uma pesquisa comparativa em três grupos, utilizando material agregado natural (areia natural) e agregado reciclado (areia reciclada) com RCC e RCD.

A consistência das argamassas foi analisada a partir de um traço de referência produzido sem material reciclado e o mesmo foi aplicado em um painel de alvenaria de bloco de concreto, controlando a quantidade de água para determinar o fator água/cimento. A consistência atingida pelo traço foi de 295 # 10 mm para todas as argamassas.

Desse modo foi confeccionado traço substituição da areia natural pela areia com material reciclado em:

- Traço de referência com dosagem de 1:6 com substituição de nenhum material agregado reciclado.
- Traço A25 com dosagem de 1:4,5:1,5, com substituição de 25% do material agregado natural.
- Traço A50 com dosagem de 1:1,5:4, 5, com substituição de 50% do material agregado natural.
- Traço A75 com dosagem de 1:1,5:4,5, com substituição de 75% do material agregado natural.

O trabalho utilizou o cimento Portland CP II Z – 32, com as resistências de acordo com a NBR 7215/1996, agregado natural da cidade de Alagoinhas, o material reciclado foi utilizado do trabalho de Santiago (2008), onde o material foi proveniente

de uma reforma de estabelecimento comercial da cidade de Feira de Santana. Foi realizada a triagem e realizando a composição gravimétrica de grãos acima de 38mm, sendo composta por 86,2% de argamassas, 13% de cerâmica, 0,5% de concreto e 0,3% de outros materiais. Na qual os menores tendem apresentar uma quantidade de contaminantes e solos comprometendo a amostra do material.

Nas análises de resultado, foram avaliadas as seguintes características apresentadas nas seções a seguir.

4.4.1 Retenção de água

A determinação de água seguiu a NBR 13277 (ABNT, 2005) utilizando uma bomba a vácuo. Atingindo os resultados de 66% para o traço de referencia, 73% para o traço de 25% de agregado reciclado, 80% para o traço de 50% agregado reciclado e 84% para o traço de 75% de agregado reciclado. Pode-se observar que quanto maior a porcentagem de RCD maior a porcentagem de retenção de água do traço. Podendo ser justificado pelo motivo do material apresentar um alto teor de finos favorecendo a retenção da água. Além disso, pode observar um aumento no fator água/cimento que iniciou com 1,12 de fator água/cimento, o traço 02 atingiu 1,22, o traço 03 atingiu 1,36 e o traço 04 atingiu 1,47 apresentando um aumento de 0,35 de fator água/cimento do corpo de prova de referência para o corpo de prova de 75%.

4.4.2 Massa específica

A massa específica foi determinada de acordo com a NBR 13278 (ABNT, 2005). Atingindo uma massa específica de 2006 kg/m³ para o traço de referencia, 1999 kg/m³ para o traço com 25 % de RCD, 1985 kg/m³ para o traço de 50 % de RCD e 1954 kg/m³ para o traço 75 % de RCD. A utilização do RCD proporcionou uma redução na massa específica, sendo justificada pela massa específica do material reciclado ser menor que a massa específica da areia natural.

4.4.3 Propriedades das argamassas no estado endurecido

4.4.3.1 Resistência à compressão

O ensaio de resistência à compressão seguiu as normas de acordo com NBR 13279 (ABNT, 2005), utilizando uma máquina servo hidráulica com capacidade de 200 toneladas, de acordo com a tabela 01.

Tabela 01: Resultados do ensaio de resistência à compressão aos 28 dias

% de RCD	Resistência individual (MPa)	Resistência média (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coefficiente de variação (%)
0	4,8	4,3	0,3	7,2
	4,2			
	5,7*			
	4,1			
	4,4			
	4,1			
25	4,6	4,9	0,2	4,9
	4,8			
	4,9			
	5,9*			
	5,3			
	5,0			
50	5,4	5,4	0,1	2,0
	5,2			
	6,1*			
	5,3			
	5,4			
	3,8*			
75	5,8	5,6	0,3	4,6
	5,3			
	5,3			
	5,9			
	5,5			
	5,7			

Fonte: Oliveira (2012)

Quanto maior a resistência à compressão maior a quantidade de agregado reciclado na confecção. Sendo justificado pela Granulometria continua do agregado, apresentar maior retenção de água, existência de grãos anidros de cimento que aumenta a resistência e a rugosidade do agregado reciclado.

4.4.3.2 Resistência à tração

O ensaio de resistência à tração seguiu as normas de acordo com a NBR 13279 (ABNT, 2005) utilizando uma célula de carga com capacidade de 5 toneladas, de acordo com a tabela 02.

Tabela 02: Resultados do ensaio de resistência à tração das argamassas

% de RCD	Resistência à tração na flexão individual (MPa)	Resistência à tração na flexão média (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coefficiente de variação (%)
0	0,6	0,6	0,1	8,7
	0,7			
	0,7			
25	0,8	0,6	0,2	31,5
	0,5			
	0,6			
50	0,7	0,6	0,1	9,8
	0,6			
	0,6			
75	1,2	1,0	0,3	29,4
	1,2			
	0,7			

Fonte: Oliveira (2012)

Observa-se que os traços de 25% e 75% apresentam coeficientes de variações elevadas, porém os desvios padrão encontram - se dentro do limite da NBR 13279 (ABNT, 2005). Observa-se também que nos traços de 25% e 50% não houve variação na resistência à tração. Porém no traço de 75% observa-se um acréscimo significativo.

4.4.3.3 Resistência de aderência à tração

O autor realizou um painel de alvenaria com bloco de concreto, onde foram instaladas mestras para controlar a espessura das argamassas em 2 cm. De acordo com a tabela 03.

Tabela 03: Resultados do ensaio de resistência de aderência à tração das argamassas produzidas

% de RCD	C.P	Resistência individual (MPa)	Resistência média ajustada (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coefficiente de variação (%)	Umidade (%)
0	1	0,66	0,46	0,20	44,1	1,84
	2	0,24				
	3	0,25				
	4	0,70				
	5	0,64				
	6	0,64				
	7	0,39				
	8	0,23				
	9	0,36				
25	1	0,42	0,46	0,05	10,9	2,25
	2	0,52				
	3	0,40				
	4	0,45				
	5	0,53				
	6	0,50				
	7	0,41				
	8	0,50				
	9	0,42				

50	1	0,36	0,43	0,12	27,4	3,29
	2	0,42				
	3	0,52				
	4	0,60				
	5	0,52				
	6	0,34				
	7	0,28				
	8	0,53				
	9	0,29				
75	1	0,50	0,59	0,13	21,6	4,22
	2	0,44				
	3	0,58				
	4	0,71				
	5	0,68				
	6	0,74				
	7	0,67				
	8	0,60				
	9	0,37				

Fonte: Oliveira (2012)

4.5 Comparações dos resultados dos autores

Realizando um método comparativo entre os autores Assunção (2007) e Oliveira (2012), foram realizados o gráfico 01 “fator água/cimento”, o gráfico 02 “resistência à compressão axial”, o gráfico 03 “resistência à tração” e o gráfico 04 “resistência de aderência à tração”, para melhor visualização dos resultados obtidos.

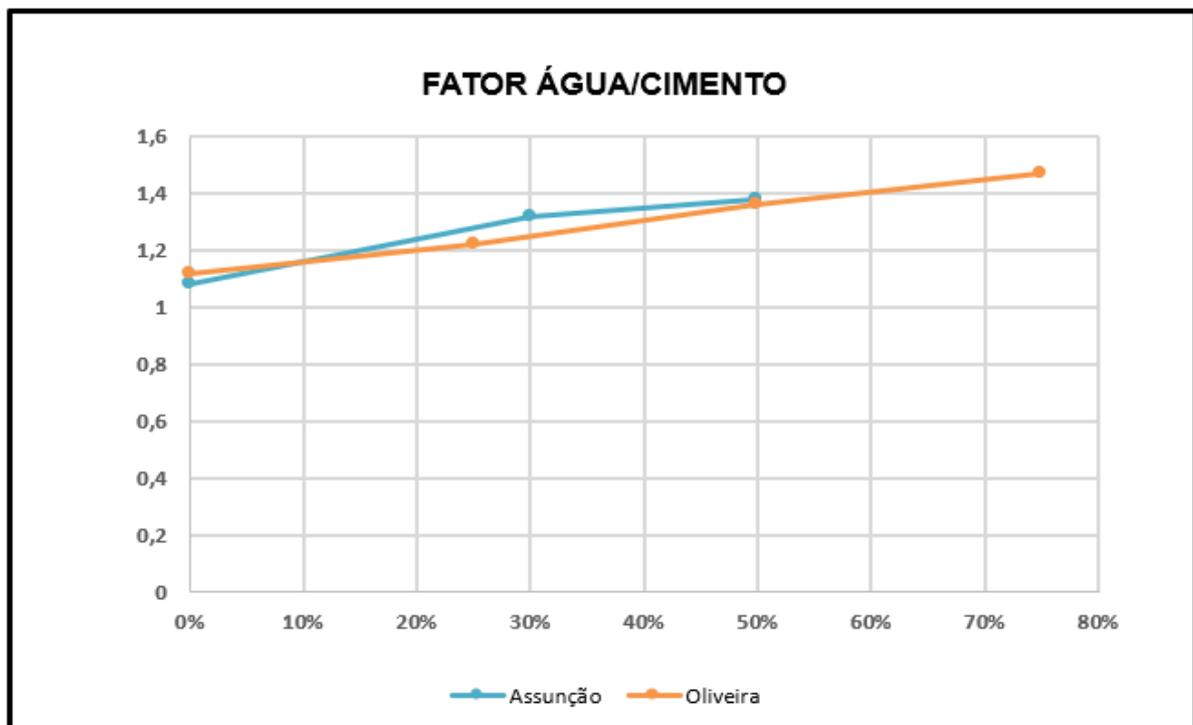


Gráfico 01: Fator Água/Cimento;
Fonte: Adaptado Assunção (2007) e Oliveira (2012);

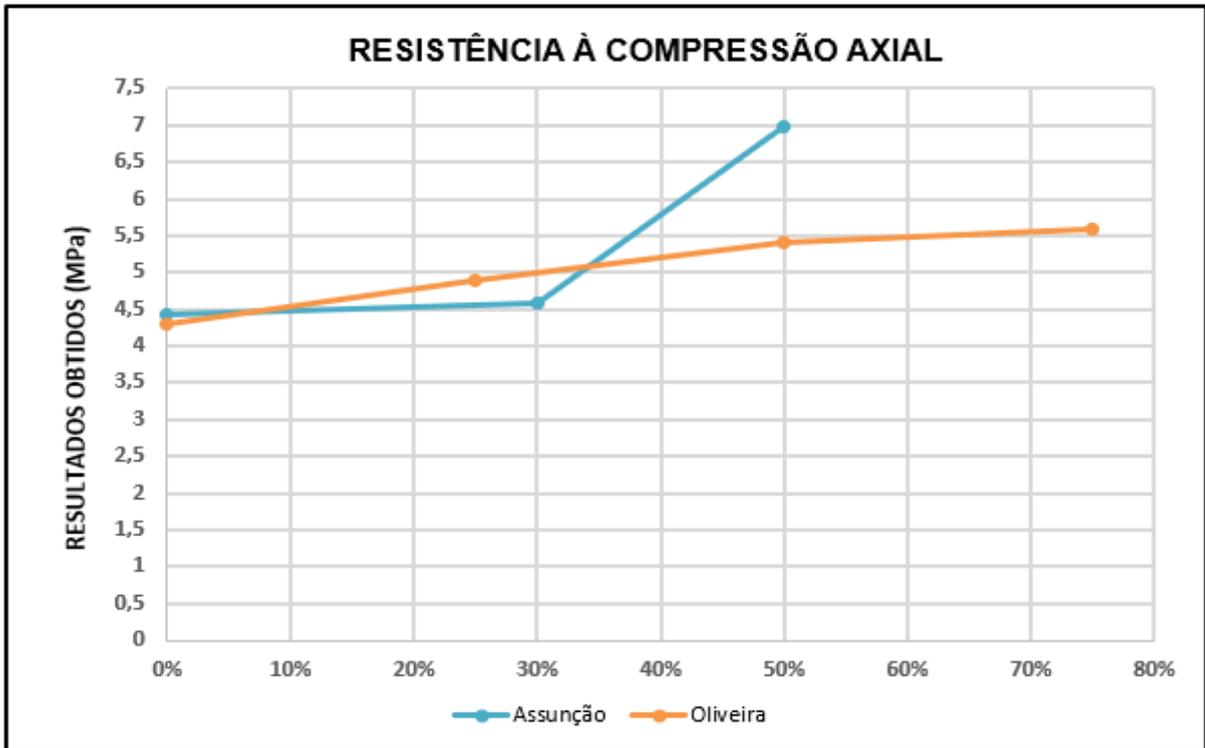


Gráfico 02: Resistência à compressão axial;
Fonte: Adaptado Assunção (2007) e Oliveira (2012);

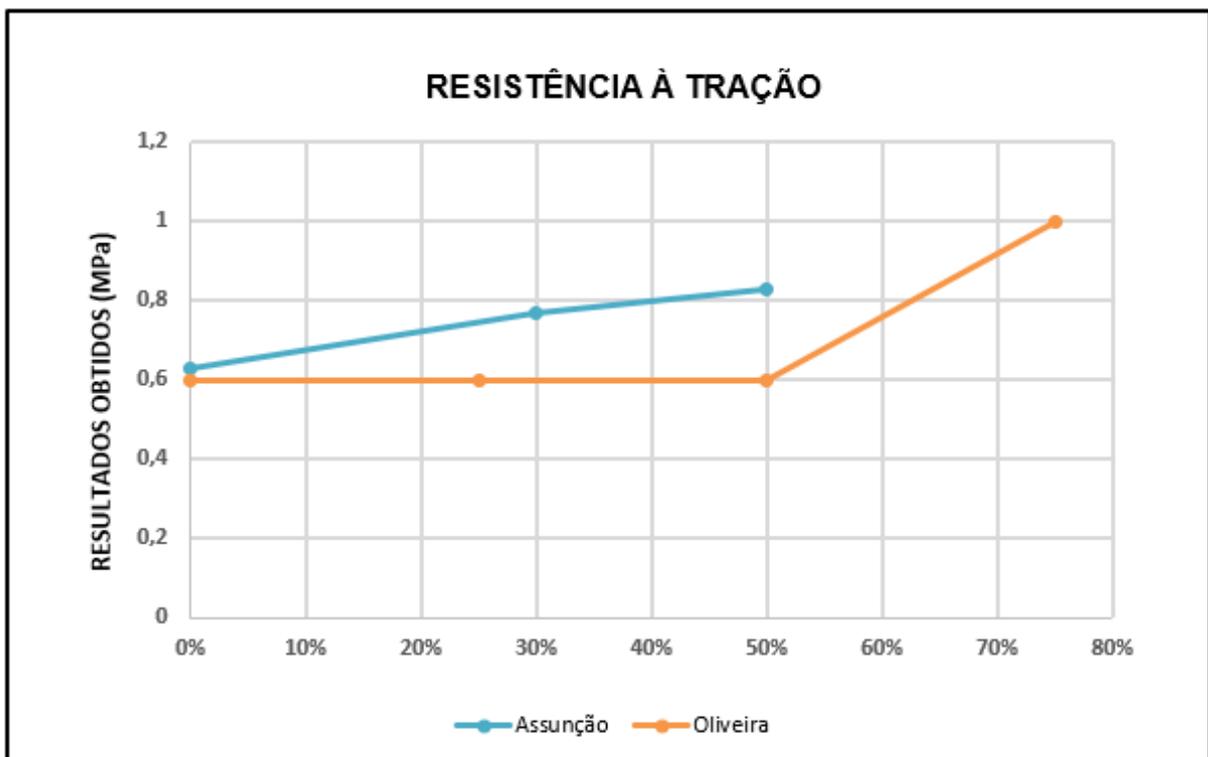


Gráfico 03: Resistência à tração;
Fonte: Adaptado Assunção (2007) e Oliveira (2012);

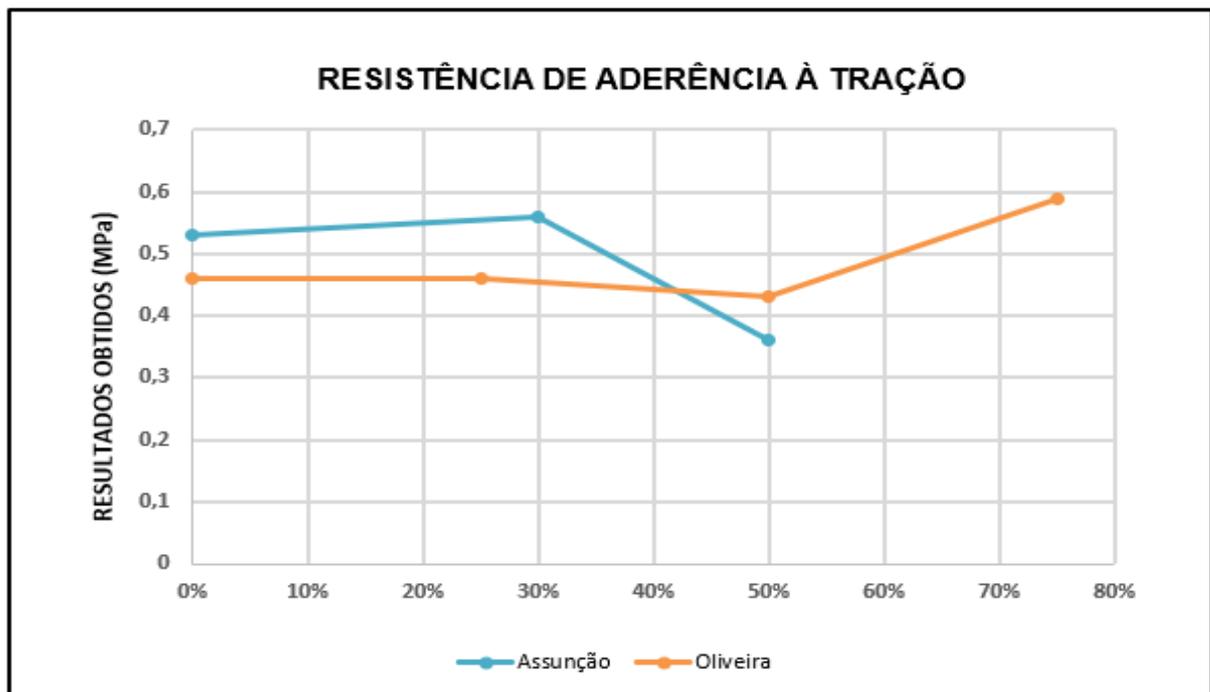


Gráfico 04: Resistência de aderência à tração;
Fonte: Adaptado Assunção (2007) e Oliveira (2012);

De acordo com os resultados obtidos pelos autores e pelos gráficos apresentados acima, pode-se observar que a utilização dos materiais reciclados de construção e demolição (RCC e RCD) apresenta aumentos significativos em suas resistências de compressão, tração, aderência à tração e no fator água/cimento. Porém no corpo de prova de substituição de 50% de material reciclado não se pôde observar um aumento na resistência de aderência à tração. Os dois trabalhos apresentam esse decréscimo no corpo de 50% de RCC, para então justificar que a partir do corpo de prova de 50% a resistência de aderência à tração diminuiu, Oliveira realizou testes com corpo de prova de 75% e o mesmo teve um aumento em suas resistências.

Para assim comprovar que corpo de prova com maior quantidade de RCC e RCD aumenta todas suas resistências, Rocha (2018) estudou argamassas com 0% e 100% de agregado reciclado e verificou que houve um aumento da resistência de aderência à tração com a substituição de 100% de agregado natural por agregado reciclado.

5 Considerações finais

Contudo observa-se que o uso de Resíduos de Construção Civil e Demolição são aprovados para confecção de argamassa de revestimento, uma vez que apresentam ótimos resultados de resistência e trabalhabilidade para execução. As

comparações das pesquisas mostram que as resistências aumentam com a maior quantidade de porcentagem de RCC e RCD.

Além de se apresentar viável na produção, a questão ambiental também é favorecida quanto ao uso dos materiais que seriam descartados de maneira incorreta podendo apresentar um reaproveitamento dentro do próprio canteiro de obra.

Através das pesquisas acima chegamos à conclusão que o uso de RCC e RCD para confecção das argamassas de revestimentos apresentam valores e benefícios para o canteiro de obra e para o meio ambiente. As argamassas de revestimentos com maiores substituições de RCC e RCD mostram resultados cada vez maiores e melhores, tanto na resistência quanto na trabalhabilidade. Conseguindo assim um melhor desempenho na execução da obra e conseqüentemente reduzir os custos e os impactos ambientais. Ou seja, com demais estudos, se substituirmos 100% da areia reciclada, a argamassa ainda assim apresenta valores maiores do que o de referência, provando a cada estudo sua viabilidade para o mercado atual.

6 Referências

ABRELPE, *Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos especiais*. 2013.

ASSUNÇÃO, *Avaliação das propriedades das argamassas de revestimento produzidas com resíduos da construção e demolição como agregado*. São Paulo, 2007.

CONTI, *resíduos da construção civil: impactos e benefícios gerados pelos RCC e sua reciclagem*. Porto Alegre, 2014.

COSTA, *Taxa de geração de resíduos da Construção civil em edificações na Cidade de João Pessoa*. Porto Velho, 2014.

JOHN, *Utilização de Resíduos na Construção Habitacional*. Porto Alegre, 2003.

Livro gestão de Resíduos na Construção Civil: *Redução, Reutilização e Reciclagem*, 2013.

MATTOS, *Reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil*. São Paulo, 2015.

OLIVEIRA, *Uso de resíduos de construção e demolição em argamassa para revestimento de alvenaria*. Rio de Janeiro, 2015.

PINTO, *Metodologia para gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana*. São Paulo, 1999.

RAMOS, *O gerenciamento dos resíduos sólidos da construção civil e demolição no Município de Belo Horizonte*. Florianópolis, 2014.

Resolução nº 307/2002 O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA.

ROCHA, *Análise da viabilidade de reutilização do material de demolição da construção civil voltado à produção de argamassa para revestimento*. Viçosa, 2018.

ROHM, *Gestão dos Resíduos da Construção Civil (RCC) em Canteiros de Obras de Empresas Construtoras da Cidade de São Carlos*. São Paulo, 2013.