

FACULDADE DE CIÊNCIAS GERENCIAIS DE MANHUAÇU

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DO USO DE ENTULHO NA OBTENÇÃO DE
AGREGADO RECICLADO PARA A PRODUÇÃO DE CONCRETO NÃO
ESTRUTURAL**

THAYSE APARECIDA DE LIMA RODRIGUES

**MANHUAÇU
2015**

THAYSE APARECIDA DE LIMA RODRIGUES

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DO USO DE ENTULHO NA OBTENÇÃO DE
AGREGADO RECICLADO PARA A PRODUÇÃO DE CONCRETO NÃO
ESTRUTURAL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado no Curso Superior de
Engenharia Civil na Faculdade de
Ciências Gerenciais de Manhuaçu,
como requisito parcial à obtenção do
título de Engenheiro Civil.

Área de Concentração: Construção civil
Orientador: Márcio José Ottoni

**MANHUAÇU
2015**

R696a Rodrigues, Thayse Aparecida de Lima.
Análise da viabilidade do uso de entulho na obtenção de
agregado reciclado para a produção de concreto não estrutural /
Thayse Aparecida de Lima Rodrigues. -- Manhuaçu, 2015.
17f.

Monografia (Curso de Engenharia civil) – Orientador: Márcio
José Ottoni
Centro Superior de Estudos de Manhuaçu - FACIG

1. Construção civil. 2. resíduos. 3. reciclagem 4.
sustentabilidade
I. Título.

FACIG

CDD – 628.44

RESUMO

Os processos da construção civil geram muitos resíduos. No Brasil, em decorrência da ineficiência de políticas públicas que tratam da gestão de resíduos sólidos e do não cumprimento das leis ambientais, esses resíduos não são reaproveitados e são descartados na natureza de forma inapropriada, causando transtornos de ordem ambiental, econômica, visual e de salubridade. Devido à preocupação com a escassez de recursos naturais e também com a falta de locais apropriados para disposição dos detritos, percebeu-se a necessidade de edificar de forma mais sustentável, visando diminuir o desperdício, com técnicas inovadoras que permitam a reutilização e a reciclagem de materiais. Este trabalho trata da reciclagem dos resíduos oriundos da construção civil na obtenção de agregados para a fabricação de concreto não estrutural. Foram realizados levantamentos e comparativos bibliográficos e, desta forma, espera-se contribuir para o entendimento do concreto confeccionado com agregados reciclados, suas propriedades favoráveis e também suas limitações, quebrando, assim, o preconceito da palavra entulho, introduzindo novos materiais na construção civil de uma forma limpa e sustentável, uma vez que é possível comprovar a eficácia do agregado reciclado na produção de concreto não estrutural.

Palavras-chave: construção civil; resíduos; reciclagem; sustentabilidade.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. DESENVOLVIMENTO	1
2.1. Referencial Teórico	1
2.1.1. Definição e classificação dos resíduos da construção civil	1
2.1.2. Origem e composição dos resíduos.....	2
2.1.3. Geração de resíduos	3
2.1.4. Agregados	4
2.1.4.1. Agregado natural	4
2.1.4.2. Agregado reciclado	5
2.1.4.3. Aplicação dos agregados reciclados.....	5
2.1.5. Propriedades dos agregados reciclados	6
2.1.5.1. Absorção de água.....	6
2.1.5.2. Densidade.....	6
2.1.5.3. Resistência à abrasão	6
2.1.6. Concreto	7
2.1.6.1. Concreto Simples.....	7
2.1.6.2. Concreto reciclado	7
2.1.7. O uso de agregados reciclados no concreto.....	7
2.1.8. Propriedades do concreto à base de agregados reciclados	8
2.1.8.1. Porosidade.....	8
2.1.8.2. Absorção de água no concreto	9
2.1.8.3. Trabalhabilidade	9
2.1.8.4. Resistência à compressão.....	9
2.1.9. Comparativo das propriedades do concreto convencional e do concreto reciclado	10
2.1.10. Outras características avaliadas.....	11
2.1.10.1. Viabilidade econômica, ambiental e social	11
2.2. Metodologia	12
3. CONCLUSÃO	12
4. REFERÊNCIAS	13

1. INTRODUÇÃO

A utilização de entulho como matéria-prima para a obtenção de agregado reciclado tem se mostrado uma alternativa viável para a destinação dos resíduos da construção civil (RCC's), uma vez que é crescente a quantidade destes detritos em todo o planeta e há grande dificuldade para a sua disposição final. No Brasil, com o aumento da população urbana, que corresponde a 84% da população total do país (CENSO, 2010), e de construções para atender à demanda de moradias e de eventos como os Jogos Pan-Americanos (2007), a Copa do Mundo (2014) e as Olimpíadas (2016), o volume de resíduos aumentou consideravelmente.

Os resíduos de construção civil, em sua maioria, são gerados por equívocos construtivos, incompatibilidade de projetos, falta de padronização do setor, excesso de matéria-prima, ausência de mão de obra especializada e desperdício. Segundo Ângulo (2005), esses detritos correspondem a 50% da massa dos resíduos sólidos urbanos.

O reaproveitamento dos RCC's mostra-se, então, uma boa alternativa para a destinação dos detritos e também para a redução da extração de matéria-prima da natureza, reinserindo no ciclo de produção um material que seria descartado, dando origem a um novo componente disponível para o uso na construção civil. Apresenta-se, também, como opção econômica interessante, uma vez que a trituração dos resíduos e sua posterior mistura com cimento e água propicia um elemento com características muito similares às do concreto.

A fim de analisar as técnicas e métodos utilizados para viabilizar o uso dos agregados reciclados na composição de concretos não estruturais, este estudo se dará por meio de um levantamento bibliográfico, apresentando os principais mecanismos e parâmetros aplicados no processo de reutilização destes resíduos na construção civil e sanar dúvidas sobre o êxito da substituição dos agregados reciclados em detrimento dos convencionais. Diante do exposto, o objetivo deste estudo consiste em analisar as propriedades físico-mecânicas do concreto que possui em sua composição agregados gerados a partir do entulho, visando fornecer informações que comprovem a eficiência destes materiais na fabricação de concreto para fins não estruturais.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Referencial Teórico

2.1.1. Definição e classificação dos resíduos da construção civil

Em 2002, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) passou a regulamentar os procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil no Brasil através da Resolução 307 (CONAMA, 2002), definindo responsabilidades para todos os setores que participam de alguma forma dos processos construtivos, desde os geradores até os responsáveis pela destinação correta para os detritos. Assim, o CONAMA definiu resíduos da construção civil (Figura 1) como os:

Provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico,

vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha (CONAMA, 2002, p.01).

FIGURA 1 – Resíduos da construção civil



Fonte: Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos, 2011.

Os resíduos da construção civil são compostos por materiais dos mais diversos tipos, sendo completamente heterogêneos. São organizados pelo CONAMA (2002) em quatro classes:

A classe A é a classe que engloba os resíduos que podem ser reciclados e reutilizados como agregados. São os trituráveis, oriundos dos processos de construção e demolição.

A classe B é a classe dos resíduos que também podem ser reciclados, mas para outra destinação. São os materiais recicláveis comuns, como plástico, papelão, vidros, metais e outros.

A classe C é a classe dos materiais que ainda necessitam de técnicas ou métodos para que se torne possível a sua reutilização. É o caso dos resíduos do gesso.

A classe D é a classe dos resíduos perigosos. Nesta classe, encontram-se solventes, tintas, amiantos e outros que, de alguma forma, possam ser nocivos à saúde.

Além da classificação do CONAMA, há no Brasil uma norma regulamentadora que trata da Classificação de Resíduos Sólidos, que é a NBR 10004 (ABNT, 2004). Esta norma sugere a organização dos resíduos em outras duas classes: Classe I – Perigosos e Classe II – Não perigosos. A classe II, por sua vez, é subdividida em Classe II A – Não inertes e Classe II B – Inertes.

Apesar da existência de tintas e de alguns solventes nos entulhos, os resíduos da construção civil são classificados na Classe II B. Este trabalho, portanto, tratará dos resíduos Classe A (CONAMA, 2002) e Classe II B (ABNT, 2004).

2.1.2. Origem e composição dos resíduos

Os resíduos da construção civil têm sua origem, indiretamente, no momento da elaboração do projeto. Nesta fase, é comum haver incompatibilidade entre os diferentes projetos de uma mesma obra (arquitetônico, estrutural, elétrico, hidrossanitário, etc.) porque, além de serem elaborados por diferentes profissionais, não há padronização para o setor da construção civil no Brasil. Assim, as diferenças entre os projetos, a falta de materiais de construção padronizados e de mão-de-obra especializada para a execução das obras geram cortes de materiais e de partes edificadas para adequação dos sistemas. Todas essas atividades são geradoras de resíduos.

O excesso de matéria-prima nos canteiros de obra é outro fator que contribui muito para a formação de resíduos. A grande disponibilidade de material, segundo Zordan (1997), aumenta o desperdício.

Segundo Levy (1997), o setor da construção civil é capaz de produzir resíduos mesmo após o fim da vida útil de uma edificação, momento em que pode haver a demolição do empreendimento e gerar toneladas de entulho.

Os materiais da construção civil possuem componentes e usos bem distintos, gerando resíduos com características variadas. Em linha geral, a composição média dos materiais de RCC's em obras no Brasil pode ser definida segundo a tabela 1:

TABELA 1 – Composição média dos materiais de RCC de obras no Brasil

COMPONENTES	PORCENTAGEM
Argamassa	63
Concreto e blocos	29
Outros	7
Orgânicos	1
Total	100

Fonte: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, 2012. Adaptado.

2.1.3. Geração de resíduos

No Brasil, são geradas anualmente 31 milhões de toneladas de resíduos da construção civil. O valor é menor que o apresentado por países como Estados Unidos, Alemanha e Japão, mas ainda é muito maior que os índices de Portugal, Holanda e outros países europeus (IPEA, 2012), como apresentado na tabela 2:

TABELA 2 – Estimativa de geração de RCC em alguns países

PAÍS	EM MILHÕES T/ANO	EM KG/HABITANTE/ANO	FONTE
Holanda	12,8 – 20,2	820 – 1300	Lauritzen (1998), Brossink, Brouwers e Van Kessel (1996) e EU (1999)
Estados Unidos	136 – 171	463 – 584	EPA (1998), Peng, Grosskopf e Kibert (1994)
Alemanha	79 – 300	963 – 3658	Lauritzen (1998) e EU (1999)
Japão	99	785	Kasal (1998)
Portugal	3,2 – 4,4	325 – 447	EU (1999) e Ruivo e Veiga (<i>apud</i> Marques Neto, 2009)
Brasil	31	230 - 760	Abrelpe (2011), Pinto (1999), Carneiro <i>et al.</i> (2001) e Pinto e González (2005)

Fonte: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, 2012. Adaptado.

Segundo Ângulo (2005), os resíduos de construção e demolição correspondem a 50% da massa dos resíduos sólidos urbanos. Pinto e González (2005, *apud* IPEA, 2012), afirmam que este percentual pode chegar a 61%.

Por falta de infraestrutura adequada, muitas vezes esses resíduos não têm uma destinação correta, sendo depositados em lixões a céu aberto ou em aterros controlados, contrariando a Lei 12.305/2010, que dispõe sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010).

Os resíduos sólidos provenientes da construção civil causam diversos problemas ambientais e de saúde pública caso tenham disposição final inadequada. Além de constituir crime ambiental pela Lei 9.605/1998 (BRASIL, 1998), quando depositados em lixões, os entulhos se tornam locais propícios à proliferação de agentes transmissores de doenças, como ratos, baratas e moscas. Outros materiais, como o amianto, são altamente cancerígenos.

Desta forma, se fez necessário investigar alternativas para a utilização destes resíduos, que sejam viáveis dos pontos de vista ambiental, econômico e legal. Assim, surgiram estudos com a finalidade de promover a transformação do entulho em agregado reciclado e a sua posterior utilização para a produção de concreto não estrutural.

2.1.4. Agregados

2.1.4.1. Agregado natural

Os agregados são partículas produzidas a partir de fontes minerais, como areia, cascalho e esmagados de rocha. Compõem, juntamente com outros materiais, o concreto, e têm a finalidade de aumentar o volume e reduzir o custo (PINHEIRO, 2010). Estima-se que aproximadamente 80% de todo o concreto consista de agregados (TORGAL *et al.*, 2013).

De acordo com o diâmetro da partícula, os agregados são divididos em duas categorias: agregados miúdos e agregados graúdos. Os agregados miúdos são aqueles com granulometria entre 0,075mm e 4,8mm, por exemplo a areia. Os agregados graúdos são aqueles com granulometria maior que 4,8mm, como a brita (PINHEIRO, 2010). Na figura 2, estão ilustrados os agregados naturais miúdos e graúdos.

FIGURA 2 – Agregado natural (miúdo e graúdo)



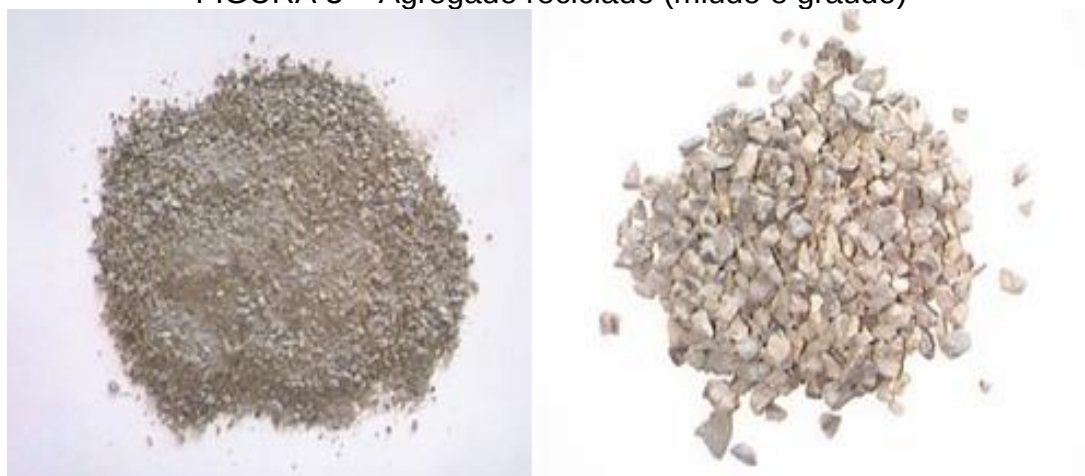
Fonte: GONÇALVES, 2001.

2.1.4.2. Agregado reciclado

A Resolução 307 do CONAMA define agregado reciclado como “o material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção que apresentem características técnicas para a aplicação em obras de edificação, de infra-estrutura, em aterros sanitários ou outras obras de engenharia.” (CONAMA, 2002, p.1)

Os agregados reciclados são, então, aqueles obtidos a partir de material de processamento usado anteriormente em construção e dividem-se, assim como os agregados do concreto convencional, em agregados miúdos e graúdos, seguindo o mesmo padrão de granulometria. Na figura 3, estão ilustrados os agregados reciclados miúdos e graúdos.

FIGURA 3 – Agregado reciclado (miúdo e graúdo)



Fonte: GONÇALVES, 2001.

2.1.4.3. Aplicação dos agregados reciclados

Os agregados reciclados compõem um novo material para a construção civil. Triturados em usinas de beneficiamento de entulho, eles podem ser utilizados na substituição de agregados para várias finalidades. Entretanto, o uso dos agregados reciclados no Brasil são restringidos a:

- a) Obras de pavimentação viária: em camadas de reforço de subleito, sub-base e base de pavimentação ou revestimento primário de vias não pavimentadas;
- b) Preparo de concreto sem função estrutural. (NBR 15116, ABNT, 2004, p.01).

Esta restrição da NBR 15116 ocorre devido ao fato de os agregados reciclados serem compostos por materiais heterogêneos, não podendo garantir exatamente as mesmas propriedades em todos os grãos.

De acordo com o Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável (UEPG, 2011, *apud* TORGAL *et al.*, 2013), mesmo nos países onde a reciclagem atinge índices elevados, os agregados reciclados ainda têm uma pequena contribuição, que é inferior a 20%. No Brasil, apenas 0,2% das cidades contam com Usina de Beneficiamento de Entulho (IBGE, 2000), reciclando 5% do entulho produzido no país. Estes números demonstram que os agregados naturais e os agregados reciclados não são concorrentes. Eles devem ser enxergados como parceiros, uma vez que a aplicação conjunta é fundamental para a sustentabilidade e para a eficiência do concreto produzido (TORGAL *et al.*, 2013).

2.1.5. Propriedades dos agregados reciclados

Segundo Torgal *et al.* (2013), as propriedades mais importantes para avaliar a qualidade dos agregados reciclados são: absorção de água, densidade e resistência à abrasão.

Akbarnezhad *et al.* (2011, *apud* Torgal *et al.*, 2013); Sanchez e Gutierrez (2009, *apud* Torgal *et al.*, 2013), alertam para um fato relevante que precisa ser observado e levado em consideração na análise das propriedades dos agregados reciclados: a argamassa aderida aos resíduos leva a uma queda da qualidade dos agregados reciclados quando comparados aos agregados naturais.

Assim, todas as características que serão analisadas a seguir sofrem a influência que argamassa apresenta sobre os agregados reciclados.

2.1.5.1. Absorção de água

Lopez-Gayarre *et al.* (2009, *apud* Torgal *et al.*, 2013) e Padmini *et al.* (2009, *apud* Torgal *et al.*, 2013), constataram que os valores de absorção de água refletem diferenças importantes entre agregados reciclados e naturais. No caso de agregados reciclados, a taxa de absorção de água aumenta principalmente por causa da presença de argamassa aderida ao material, que também está intimamente relacionada com valores de densidade, o que afeta o comportamento do concreto tanto na sua fase fresca quanto no estado endurecido.

Hansen & Narud (1983 *apud* Gonçalves, 2001), tiveram resultados parecidos em seus estudos: constataram que os agregados possuem densidade menor e absorção de água maior quando comparados aos agregados naturais.

Segundo Leite (2001), vários autores (HANSEN, 1992; BARRA, 1996; LEVY, 1997; ZORDAN, 1997; BAZUCO, 1999; BANTHIA; CHAN, 2000; LIMBACHIYA *et al.*, 1998) concordam que a argamassa aderida às partículas dos agregados reciclados leva a uma alta taxa de absorção de água.

A absorção de água é decisiva na fabricação de concreto, tendo um impacto importante sobre a relação água/cimento, o que pode afetar significativamente as propriedades do concreto, como trabalhabilidade, durabilidade e resistência.

2.1.5.2. Densidade

O agregado reciclado é sempre menos denso que os agregados naturais, devido à presença de argamassa aderida, materiais cerâmicos e outras impurezas, como o gesso (TORGAL *et al.*, 2013).

A menor densidade dos agregados reciclados produz concreto de menor capacidade de trabalho e uma maior demanda de água em seu estado fresco. Este tipo de concreto também não é tão forte e é menos durável depois que endurece. Os valores de densidade estão ligados ao maior tamanho do grão do agregado (TORGAL *et al.*, 2013).

2.1.5.3. Resistência à abrasão

A resistência à abrasão é uma propriedade importante dos agregados. É muitas vezes usada como uma medida da qualidade do agregado para resistir ao desgaste ou à fragmentação através de fricção e impacto sob o carregamento ou durante o manuseio, armazenamento e mistura. Agregados reciclados são conhecidos por ter resistência ao impacto e abrasão inferior em cerca de 30% quando comparados aos agregados naturais (TORGAL *et al.*, 2013).

Tabsh e Abdelfatah (2009, *apud* Torgal *et al.*, 2013), afirmam, entretanto, que a resistência à abrasão e ao impacto dos agregados reciclados encontra-se dentro dos limites considerados normais para aplicações estruturais. A dureza inferior dos agregados reciclados também tem sido atribuída à presença de argamassa, a qual tipicamente tem uma tenacidade mais baixa em comparação com os agregados naturais.

2.1.6. Concreto

2.1.6.1. Concreto Simples

O concreto é o resultado da mistura, em proporções ideais, de agregados, água e aglomerantes (PINHEIRO, 2010). Suas propriedades são bem específicas: em seu estado endurecido, apresenta ótima resistência à compressão, é moldável, apresenta boa durabilidade e pouco custo de manutenção, e seu preço final não é elevado, pois tanto os materiais quanto a mão de obra são baratos (PINHEIRO, 2010). Por outro lado, apresenta algumas restrições: baixa resistência à tração, peso próprio elevado e apresenta retração e fissuração. Devido a essas características, o concreto simples necessita da adição de materiais suplementares, que forneçam a ele condições melhores de resistência e trabalhabilidade (PINHEIRO, 2010).

FIGURA 4 – Concreto



Fonte: PINHEIRO, 2010.

2.1.6.2. Concreto reciclado

O concreto reciclado é aquele cujos agregados (miúdos e/ou graúdos) são substituídos parcial ou totalmente por agregados provenientes dos processos de reciclagem do entulho da construção e demolição.

O modo de preparo deste concreto diferencia-se um pouco do concreto convencional por ser constituído por agregados mais secos. Desta forma, é necessário que haja uma pré-molhagem dos agregados (ANBT, 2004), garantindo uma absorção de água mais controlada durante os processos de cura do concreto.

2.1.7. O uso de agregados reciclados no concreto

O concreto é, segundo afirma o engenheiro da Ibracon, Minos Trocoli "o segundo material mais utilizado no mundo, só perde para a água." (CREA BA, 2009). O uso de agregados de origem natural em sua composição, que são extraídos de jazidas, torna o concreto um elemento considerado não sustentável.

Nas últimas décadas, estudos têm sido realizados para tornar a produção de

concreto mais sustentável, concentrando-se na redução do consumo de recursos naturais e buscando medidas alternativas para a sua produção. Estes estudos estão sendo desenvolvidos para avaliar a aplicação dos agregados reciclados em substituição aos naturais em misturas de concreto, como os realizados por Gonçalves (2001); Vieira (2004); Cabral (2007) e outros.

Os agregados reciclados são materiais heterogêneos, e suas propriedades variam de acordo com a natureza e a qualidade dos resíduos utilizados na sua produção. Esta heterogeneidade é inerente ao agregado reciclado, mas pode ser diminuída quando há uma correta separação de resíduos e tratamento adequado. Esta variação da qualidade do agregado pode influenciar de forma negativa a uniformidade das propriedades do concreto.

Para a fabricação de concreto com agregado reciclado, pelo menos 90% dos agregados deve ser concreto limpo. Em legislações mais rígidas, tais como as dos Países Baixos, Reino Unido e Dinamarca, é exigido que esse índice atinja pelo menos 95%. Contaminantes, quer orgânicos ou de outras fontes, são limitados a 5% na regulação mais tolerante (Brasil) e a 1% nas mais rigorosas (Alemanha, Bélgica, Suíça). Em média, a porcentagem máxima de contaminantes permitida é de 1,5% na maioria dos países (TORGAL *et al.*, 2013).

Na figura 5, estão ilustrados bloquetes de concreto para pavimentação, fabricados com agregados reciclados:

FIGURA 5 – Bloquetes de concreto fabricados com agregados reciclados



Fonte: Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos, 2011.

2.1.8. Propriedades do concreto à base de agregados reciclados

2.1.8.1. Porosidade

O concreto produzido com agregados reciclados é geralmente mais poroso que o natural. Este é um dos principais fatores que afetam o desempenho do

concreto reciclado, tanto na mecânica quanto em termos de durabilidade. A porosidade é estreitamente ligada à densidade e absorção (TORGAL *et al.*, 2013).

2.1.8.2. Absorção de água no concreto

A absorção de água está diretamente ligada à massa específica do material, e ambas ligadas à sua porosidade. Entretanto, segundo Ângulo (2000) e Cabral (2007, *apud* Souza; Assis; Souto, 2014), há um paradoxo: apesar da maior absorção de água, os concretos reciclados possuem uma massa específica menor, diminuindo seu peso próprio quando comparado ao concreto composto por agregados naturais, viabilizando sua utilização.

2.1.8.3. Trabalhabilidade

Collins (1994), *apud* Torgal *et al.*, (2013), afirma que como a estrutura do agregado reciclado pode conter espaços vazios, é necessário um maior teor de água para conseguir um bom padrão ou trabalhabilidade.

Cabral (2007, *apud* Souza, Assis; Souto, 2014), concluiu que:

Quando se compara os agregados reciclados com de origem natural observa-se que a sua trabalhabilidade é afetada chegando a apresentar resultados menores, o que pode ser explicado pelo fato de que os agregados reciclados são considerados mais secos que os normais, ocasionando uma maior absorção de água do que o normal, fazendo com que o resultado final apresente um material com uma mistura mais seca pelo fato dos agregados retirarem a água do processo que seria usado no cimento o que provoca uma menor trabalhabilidade do conjunto (SOUZA, ASSIS; SOUTO, 2014, p.04).

2.1.8.4. Resistência à compressão

Uma das principais propriedades do concreto convencional é a resistência à compressão (PINHEIRO, 2010). Desta forma, a análise dessa propriedade quando um concreto é confeccionado com agregados reciclados é de suma importância para a determinação de sua viabilidade e também para o entendimento do material como um todo.

Vieira (2004), em seus estudos, observou que a resistência à compressão é elevada quando se aumenta a quantidade de agregado miúdo. Constatou, também, que a resistência à compressão do concreto aumenta à medida em que a relação água/cimento aumenta. Embora essa informação pareça controversa, ela demonstra, por meio de seus estudos, a conclusão encontrada:

As características desses agregados, como textura e granulometria, influenciam positivamente o aumento da resistência. Os agregados reciclados apresentam um grande percentual de finos que ajudam a mistura a ter um efeito de empacotamento, de compactação e proporcionam um maior fechamento dos vazios. Além disso, por possuir maior absorção, o agregado reciclado permite uma maior aderência entre a pasta e o agregado, através da absorção da pasta e da precipitação dos cristais de hidratação nos poros do agregado. Nos concretos com substituição do agregado miúdo natural pelo reciclado, todos estes aspectos são significativos para o aumento da resistência (LEITE, 2001; NEVILLE, 199; *apud* VIEIRA, 2004, p.9).

Hansen e Narud (1983), *apud* Zordan (1997), afirmam que a relação água/cimento é um fator determinante na resistência à compressão do concreto reciclado. Contudo, se a relação água/cimento do concreto convencional for igual ou maior que a do concreto reciclado, a resistência à compressão do concreto reciclado se mostra igual ou superior à do concreto convencional.

Concrete (1993), *apud* Zordan (1997), afirma que a substituição de 20% do agregado natural por agregados reciclados não afeta significativamente a resistência à compressão do concreto. Entretanto, com substituição de 100% dos agregados naturais por reciclados, haverá uma perda na resistência à compressão, que pode variar de 10 a 20%.

Ao avaliar seus estudos, Cabral (2007) chegou à seguinte conclusão:

Então, parece ser possível produzir concretos reciclados com a mesma ou até superior resistência que a dos concretos originais, para uma mesma relação água/cimento e idêntico controle, bastando para tanto que se use um agregado reciclado e uma matriz de excelentes qualidades (CABRAL, 2007, p.94).

Lima (1999), *apud* Santana *et al.* (2011), por sua vez, diz que “as perdas de resistência dos concretos com agregado reciclado em relação ao comum mostraram-se diferentes nas pesquisas nacionais (brasileiras), variando de inexistentes até 50%.” (SANTANA *et al.*, 2011, p.03)

A discordância entre os autores pode ser entendida pela variabilidade dos componentes dos agregados que, como já enfatizado, são heterogêneos.

2.1.9. Comparativo das propriedades do concreto convencional e do concreto reciclado

De forma geral, a revisão bibliográfica aponta para dois fatores interligados que influenciam muito na resistência do concreto produzido com agregados reciclados: a quantidade de argamassa aderida aos grãos e a consequente relação água/cimento alterada por essa característica.

Assim, considerando e entendendo estes requisitos, o concreto reciclado apresenta algumas propriedades diferentes das encontradas no concreto convencional, mas possui características finais muito parecidas. A Tabela 3, baseada em um trabalho de Gonçalves (2001), mostra um resumo comparativo das propriedades físicas e mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados em relação aos concretos produzidos com agregados naturais:

TABELA 3 – Comparativo entre as propriedades do concreto produzido com agregado natural e o concreto produzido com agregado reciclado

PROPRIEDADE	RESULTADO OBSERVADO
Porosidade	Maior
Absorção de água	Maior
Trabalhabilidade	Menor
Resistência à compressão	Variável

Elaboração da autora.

Devido à maior porosidade do concreto reciclado quando comparado ao concreto convencional, a absorção de água se torna maior. A trabalhabilidade do concreto reciclado, por sua vez, é menor por causa do maior teor de água necessário para preencher os vazios do agregado reciclado.

Com a análise dos dados da tabela, percebe-se que a resistência à compressão é variável. Este fato ocorre devido à heterogeneidade dos agregados reciclados, fazendo com que os resultados obtidos sejam diferentes de acordo com o componente utilizado em substituição ao agregado natural e também de sua dosagem.

Apesar da divergência entre as opiniões dos autores, a utilização dos agregados reciclados se mostra plausível: os agregados obtidos pela reciclagem dos detritos da construção civil mostram-se eficientes na substituição dos agregados convencionais do concreto, desde que preparados corretamente e utilizados em proporções adequadas. É necessário também que se tenha cautela com a seleção dos entulhos, de modo a deixar o material que será transformado em agregado o mais homogêneo possível.

Assim, respeitando as prescrições normativas tanto para a concepção quanto para a utilização do concreto reciclado, é possível a utilização de agregados reciclados na fabricação de peças não estruturais, salientando que o seu uso estrutural ainda necessita de estudos mais aprofundados.

2.1.10. Outras características avaliadas

Além das propriedades mecânicas, há outras questões comparativas entre os agregados reciclados e os agregados naturais.

2.1.10.1. Viabilidade econômica, ambiental e social

A questão-chave que influencia o preço dos agregados naturais são os custos de transporte. Nos casos convencionais, os agregados naturais têm que ser extraídos fora das regiões densamente povoadas e transportados por longas distâncias para as áreas de produção ou as áreas onde eles são utilizados.

Os agregados reciclados, por sua vez, são gerados a partir de matéria-prima dos processos de construções, dentro das próprias construções e, na maioria das vezes, ocorrem perto de regiões altamente povoadas e com demanda de matéria-prima. Isto dá aos agregados reciclados algumas vantagens de custo em termos das distâncias de transporte serem menores.

De acordo com o Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável (UEPG, 2011, *apud* TORGAL *et al.*, 2013), os agregados reciclados de concreto na Europa podem ser vendidos de 3 a 12 euros por tonelada, com um custo de produção de 2,5 a 10 euros por tonelada. Os preços de venda mais altos são obtidas em locais onde os resíduos da construção civil são recuperados com um grau de classificação mais avançado, onde há uma forte demanda dos consumidores e também conta com a escassez de alternativas naturais (TORGAL *et al.*, 2013).

Além disso, segundo o pesquisador Simiele (2010), *apud* Ninni (2010) (ESTADÃO, 2010), o concreto reciclado sai, em média, 30% mais barato que o concreto convencional. Com a reciclagem dos detritos e entulhos da construção civil, é possível que se obtenha grãos com características muito semelhantes às dos agregados minerais utilizados para a fabricação do concreto convencional, evitando o descarte desse entulho na natureza, que causa ocupação do solo e poluição visual, além de servir como local de abrigo para vetores de doenças. Dos resíduos descartados na natureza, 60% são constituídos de materiais inertes, podendo ser reaproveitados sem riscos (CIOCCHI, 2003).

Os agregados provenientes dos resíduos da construção civil são, portanto, viáveis dos pontos de vista mecânico, econômico, ambiental e social.

2.2. Metodologia

Este trabalho foi desenvolvido baseado em pesquisas bibliográficas, que são desenvolvidas, segundo Gil (1994), “[...] a partir de material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos.”

Com a revisão de vários autores, reportagens em sites da internet, normas regulamentadoras, legislações e resoluções ambientais, consulta a catálogos e cartilhas, artigos, teses de mestrado, dissertações de doutorado e livros nacionais e internacionais, a pesquisa bibliográfica se mostra uma alternativa interessante e muito relevante na elaboração de artigos e de trabalhos acadêmicos:

A principal vantagem da pesquisa bibliográfica reside no fato de permitir ao investigador a cobertura de uma gama de fenômenos muito mais ampla do que aquela que poderia pesquisar diretamente. Essa vantagem torna-se particularmente importante quando o problema de pesquisa requer dados muito dispersos pelo espaço. (GIL, 2002, p.45)

3. CONCLUSÃO

Observando os resultados obtidos através deste estudo, percebeu-se que seguindo as prescrições normativas e as dosagens sugeridas por estudiosos, é possível a utilização de agregados reciclados para obtenção de concreto sem função estrutural.

Alguns resultados sugerem até uma possível utilização do concreto confeccionado com agregados reciclados para elementos estruturais, embora no Brasil não haja uma norma regulamentadora que permita seu uso para este fim.

Entretanto, é necessário que se atente ao fato de que todos os estudos utilizados para a concepção deste trabalho foram baseados em resultados obtidos através da ruptura de corpos de prova confeccionados com concretos moldados e curados em laboratório, com elevado controle tecnológico aplicado à separação dos materiais, preparação do concreto e dos corpos de prova, seguindo os mais altos padrões técnicos.

Sabe-se que o mesmo rigor não ocorre no dia-a-dia de uma obra, que a seleção dos materiais não é tão eficiente em canteiro de obras e que o concreto produzido não apresenta as mesmas características, o que faz com que o concreto oriundo de agregados reciclados carregue sobre si algumas dúvidas sobre sua qualidade e desempenho.

Desta forma, a existência de disposições e diretrizes nacionais que garantam a qualidade de agregados reciclados melhora a percepção do usuário e a confiança do consumidor na utilização de agregados reciclado.

Mesmo com novos produtos que satisfaçam os mesmos requisitos técnicos, os consumidores podem achar que é difícil confiar neles, especialmente quando os produtos são feitos de resíduos. Inserir novos materiais no mercado requer grande divulgação e campanhas de promoção do produto, mesmo quando eles são mais baratos.

Neste contexto, o desenvolvimento de um estatuto com critérios para a utilização dos resíduos poderia contribuir para melhorar a imagem dos agregados reciclados e reduzir a incerteza do mercado. Além disso, devem apresentar requisitos mínimos de qualidade que garantam a utilização segura do material, influenciando a aceitação do consumidor de uma forma positiva.

A principal característica do concreto, como já mencionado neste trabalho, é a resistência à compressão. Em alguns estudos, autores comprovam a eficiência do concreto produzido com agregados reciclados, com valores de resistência à compressão superior aos alcançados pelos concretos convencionais. Outros autores, entretanto, discordam e demonstram, por meio de seus experimentos, que o concreto convencional se sobressai ao concreto composto por agregados reciclados.

Essa divergência de opiniões deixa a discussão em aberto para uma pesquisa mais complexa, com experimentos próprios do autor e conclusões mais precisas.

De modo geral, é possível afirmar que os agregados reciclados podem ser usados para substituir os agregados minerais encontrados na natureza na fabricação do concreto para uso não estrutural, tanto do ponto de vista técnico quanto social, ambiental e econômico, mostrando-se uma alternativa viável para a destinação do entulho e para a utilização renovável e sustentável dos recursos naturais.

4. REFERÊNCIAS

ÂNGULO, S.C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento mecânico dos concretos**. 2005. Tese (Doutorado) – Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: Resíduos sólidos**: classificação. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <http://www.ccs.ufrj.br/images/biosseguranca/CLASSIFICACAO_DE_RESIDUOS_SOLIDOS_NBR_10004_ABNT.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15116: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil**: utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – requisitos. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <<http://areiaovitoria.com.br/download/NBR%2015116.pdf>>. Acesso em: 24 mar. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS. **Disposição irregular de entulho**. São Paulo: Abrecon, 2011. Disponível em: <<http://www.flickr.com/photos/abrecon/5943241939/in/photostream/>>. Acesso em: 10 ago. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS. **Bloquetes produzidos com agregado reciclado**. São Paulo: Abrecon, 2011. Disponível em: <<http://www.flickr.com/photos/abrecon/5943788744/in/photostream/>>. Acesso em: 10 ago. 2015.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Gestão de resíduos e produtos perigosos: Tratamento**. Brasília: Ministério do Meio ambiente, CONAMA, 2002. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/a3p/_arquivos/36_09102008030504.pdf>. Acesso em: 06 ago. 2015.

BRASIL. Decreto-lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio

ambiente, e dá outras providências. Brasília, 177º da independência e 110º da República.

BRASIL. Decreto-lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, 189º da independência e 122º da República.

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. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

CENSO DEMOGRÁFICO 2010. **Características gerais da população, religião e pessoas com deficiência**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/caracteristicas_religiao_deficiencia/caracteristicas_religiao_deficiencia_tab_xls.shtm>. Acesso em: 06 ago. 2015.

CIOCCHI, L. **Reciclagem de concreto**. s.l. Revista Pini WEB, 2003. Disponível em: <<http://piniweb.pini.com.br/construcao/noticias/reciclagem-de-concreto-80112-1.aspx>>. Acesso em 2 dez. 2014.

CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA DA BAHIA. **Concreto – Soluções duráveis**. s.l.: CREA-BA, 2009. Disponível em:<<http://www.creaba.org.br/Artigo/33/Concreto--Solucoes-duraveis.aspx>>. Acesso em: 12 out. 2015.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Editora Atlas, 2002.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Editora Atlas, 1994.

GONÇALVES, R. D. C. **Agregados reciclados de resíduos de concreto – um novo material para dosagens estruturais**. 2001. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Construção Civil**: Relatório de pesquisa. Brasília, 2012.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2001. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LEVY, S. M. **Reciclagem do entulho de construção civil para utilização como agregado de argamassas e concretos**. 1997. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

NINNI, K **Concreto reciclado custa 30% menos**. São Paulo: ESTADÃO, 2010. Disponível em: <<http://sustentabilidade.estadao.com.br/noticias/geral,concreto-reciclado-custa-30-menos,586746>>. Acesso em: 2 dez. 2014.

PINHEIRO, L. M. **Fundamentos do Concreto e Projeto de Edifícios**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia de Estruturas (USP), 2010.

SANTANA, V. M. de. *et al.* Utilização de concreto reciclado na aplicação de elementos estruturais. In: XV ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA e XI ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS GRADUAÇÃO – UNIVERSIDADE DO VALE DO PARAÍBA. 2011. Cruz das Almas: UFRB, 2011. Disponível em: <http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2011/anais/arquivos/0246_0254_01.pdf>. Acesso em: 15 set. 2015.

SOUZA, L. M. de; ASSIS, C. D. de; SOUTO, S. B. G. Agregado reciclado: um novo material da construção civil, Santa Maria. 2014. **REGET/UFSM**. v.18, n.1, p. 273-278, 2013. Disponível em: <<http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/reget/article/view/11297/pdf>>. Acesso em: 07 set. 2015.

TORGAL, P.F. *et al.* **Handbook of recycled concret and demolition wast**. s.l: Woodhead Publishing Limited, 2013.

VIEIRA, G. L.; MOLIN, D. C. C. D. Viabilidade técnica da utilização de concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição, Porto Alegre. 2004. **Ambiente Construído**, v.4, n.4, p. 47-63, 2004. Disponível em: <<http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/viewFile/3575/1979>>. Acesso em 08 dez. 2014.

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