

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Engenharia
Curso de Especialização: Produção e Gestão do
Ambiente Construído

Lucas de Rezende Dornelas

APLICAÇÃO DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E
DEMOLIÇÃO COMO AGREGADO GRAÚDO E
MATERIAL CIMENTÍCIO SUPLEMENTAR

Belo Horizonte,
2019

LUCAS DE REZENDE DORNELAS

**APLICAÇÃO DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E
DEMOLIÇÃO COMO AGREGADO GRAÚDO E
MATERIAL CIMENTÍCIO SUPLEMENTAR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Especialização: Produção e Gestão do Ambiente Construído do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

**Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria Teresa Paulino
Aguilar**

**Belo Horizonte,
2019**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus por me proporcionar inteligência, fé e força de vontade para seguir em frente SEMPRE, sem medo dos desafios e dos “nãos” da vida. Também dedico aos meus familiares e amigos que sempre acreditaram e depositaram confiança em minha trajetória.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, pela dádiva da vida, por ter me guiado e proporcionado todas as minhas conquistas, a Ele sou eternamente grato!

Agradeço aos meus pais, Jésus e Maria, pela educação e carinho que sempre me deram, por terem me ensinado o caminho correto e honesto da vida.

Pela Pós-Graduação concluída eu sou eternamente grato aos excelentes Professores da Universidade Federal de Minas Gerais, a toda a estrutura da universidade e aos meus colegas de aula, principalmente a Renata e ao Juliano, e as novas e boas amizades que foram cultivadas. Agradeço em especial a minha Orientadora Professora Doutora Maria Teresa, por ter me guiado e ser uma inspiração em minha caminhada de estudos e de vida. Também agradeço ao meu Professor Mestre Edmundo Abi-Ackel pelo incentivo e apoio para sempre dar sequência aos estudos e por sempre ser tão solícito em me ajudar e orientar!

Ademais, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para essa conquista!

A todos vocês eu deixo o meu muito obrigado!!

“Tente uma, duas, três vezes e se possível tente a quarta, a quinta e quantas vezes for necessário. Só não desista nas primeiras tentativas, a persistência é amiga da conquista. Se você quer chegar onde a maioria não chega, faça o que a maioria não faz (Bill Gates).”

RESUMO

O presente trabalho trata da geração, impactos, leis e normas vigentes relacionadas aos Resíduos de Construção e Demolição (RCD) e os Resíduos de Construção Civil (RCC). O estudo apresenta um levantamento bibliográfico sobre o reaproveitamento desses resíduos nos próprios processos construtivos, em substituição aos agregados naturais presentes no concreto e como composto cimentício suplementar. O levantamento mostra ser possível às devidas substituições, desde de que sejam observados alguns pontos, como a capacidade de absorção de água e a origem heterogênea dos resíduos. Também, fica clara a necessidade do controle do gerenciamento e beneficiamento dos RCC e RCD para que assim seja possível a sua reincorporação nos processos construtivos da indústria da construção civil.

Palavras-chave: Resíduos de Construção e Demolição; Resíduos de Construção Civil; Reutilização; Agregados; Cimento;

ABSTRACT

The present work deals with the generation, impacts, laws and regulations related to construction and demolition waste (CDW) and construction (RCC). The study presents a bibliographic survey about the reuse of this waste in construction processes, replacing the natural aggregates present in the concrete and cementitious compound. The survey shows that it is possible to appropriate substitutions, since some points are observed as the water absorption capacity and the heterogeneous origin of the waste. Also, it is clear the need of management control and processing of the RCC and RCD to so be your possible reintroduction in the construction processes of the construction industry.

Keywords: construction and demolition waste; Construction waste; Reuse; Aggregates; Cement;

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1.1: Geração de Resíduos Sólidos no Brasil nos anos de 2009 e 2010.	15
Figura 1.2: Coleta de Resíduos Sólidos no Brasil nos anos de 2009 e 2010.	15
Figura 1.3: Geração de Resíduos Sólidos no Brasil nos anos de 2016 e 2017.	16
Figura 1.4: Coleta de Resíduos Sólidos no Brasil nos anos de 2016 e 2017.	16
Figura 1.5: Comparativo entre o PIB do Brasil e o PIB da Construção Civil no Brasil nos anos de 2004 a 2017.	19

Lista de Tabelas

Tabela 1.1: Quantidade total de RCD coletados pelos municípios do Brasil.....	17
Tabela 1.2: Coleta de RCD na Região Norte do Brasil.	17
Tabela 1.3: Coleta de RCD na Região Nordeste do Brasil.....	17
Tabela 1.4: Coleta de RCD na Região Centro-Oeste do Brasil.....	18
Tabela 1.5: Coleta de RCD na Região Sudeste do Brasil.	18
Tabela 1.6: Coleta de RCD na Região Sul do Brasil.	18
Tabela 1.7: Normas técnica regulamentadoras aplicáveis aos RCD e RCC.	22
Tabela 2.1: Principais aplicações para a reutilização de RCD e RCC.	25
Tabela 2.2: Composição do traço para confecção de 1 m ³ de concreto.	27
Tabela 2.3: Resultado dos ensaios de tração e compressão no concreto com agregado.	28
Tabela 2.4: Comparativo da consistência normal e dos tempos de pega.	33
Tabela 2.5: Comparativo, entre os estudos, de trabalhabilidade do concreto.	34
Tabela 2.6: Resultado dos ensaios de resistência a flexão dos corpos de prova com substituição parcial do Cimento Portland por resíduos moídos.	34
Tabela 2.7: Resultado dos ensaios de resistência a compressão dos corpos de prova com substituição parcial do Cimento Portland por resíduos moídos.	35

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	11
1. CAPÍTULO 1 - CONTEXTUALIZAÇÃO	13
1.1 DEFINIÇÕES E COMPOSIÇÃO DOS RCDS E RCCS	13
1.2 NÚMERO DE GERAÇÃO	14
1.3 LEIS E NORMAS VIGENTES	20
2. CAPÍTULO 2 - REUTILIZAÇÃO DO RCD E RCC	24
2.1 Principais Aplicações	24
2.2 Agregados Reciclados	26
2.2.1 Granulometria, forma e textura	26
2.2.2 Análise das influências do uso de agregados reciclados nas propriedades do concreto	27
2.2.2.1 Propriedades mecânicas	27
2.2.2.2 Durabilidade	30
2.3 Material Cimentício Suplementar	32
3. CAPÍTULO 3 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	38

INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e a expansão dos centros urbanos tornam o ramo da construção civil um dos que mais contribuem para o desenvolvimento do país. Porém, proporcionalmente a esse avanço, tem-se uma grande produção de Resíduos Sólidos, esses resíduos, chamados de Resíduos de Construção Civil (RCC) e Resíduo de Construção e Demolição (RCD), são gerados desde o início das atividades até após o término do ciclo de vida das construções. Dessa forma, tem-se uma considerável variedade de resíduo, os quais vem sendo alvo de pesquisas de diferentes processos para beneficiamento e reaproveitamento desse material em novas aplicações para construção civil.

Segundo Gómez (2016) a quantidade de RCC gerada, em nível mundial, é significativa e o incremento de seu volume é cada vez maior devido à construção de diferentes infraestruturas e renovação das que já estão em uso. A Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE apresenta anualmente um panorama nacional no que diz respeito ao gerenciamento destes materiais e, segundo a mesma, a quantidade de RCD coletada por dia em 2016 foi de 123.619 toneladas, já em 2017 a quantidade apresentada na pesquisa foi de 123.421 toneladas ao dia, representando uma diminuição de 0,1% em relação ao ano anterior (ABRELPE, 2017).

De acordo com Rocha (2016), globalmente, a grande maioria dos RCD acaba em aterros ou depositados de forma ilegal ao longo de vias, em espaços abertos ou incinerados, podendo provocar a contaminação do solo, da água e do ar, devido a substâncias tóxicas presentes nos resíduos, trazendo não apenas consequências graves ao meio ambiente, como também para a saúde pública. De acordo com a Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição – ABRECON (2015), no Brasil, a disposição irregular deste material tem causado enchentes, perda de estrutura de drenagem por entupimento de galerias e assoreamento de canais, além da proliferação de vetores, poluição e do aumento desnecessário dos custos da administração pública.

Ademais, atrelado aos danos à saúde pública e ao meio ambiente que a indústria da construção causa, em função dos resíduos gerados e do seu gerenciamento, há outros fatores, provenientes da indústria da construção, que geram significativos impactos ambientais. Um deles se refere à extração de recursos minerais, segundo a Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção – ANEPAC, que representa 80% do setor de agregados do país, a produção mineral são os materiais mais consumidos no mundo (perdendo apenas para água), em 2014 chegou a 65 bilhões de toneladas sendo que, 2/3 desta produção é destinada ao mercado de agregados (aproximadamente 45 bilhões de toneladas) (ANEPAC, 2015). De acordo com o Panorama e Perspectivas para o Setor de Agregados para Construção (ANEPAC, 2015), no Brasil, o consumo de agregados no ano de 2014 foi de 741 milhões de toneladas e o de cimento foi de 70 milhões de toneladas. No ano de 2017, foram produzidas pouco mais de 54 milhões de toneladas de cimento no Brasil (SNIC, 2017).

Este elevado índice de produção cimentícia, reflete em outro tipo de impacto ambiental, estimasse que a indústria cimentícia foi responsável, no ano de 2015, por 24,9% dos gases do efeito estufa (GEE) gerados entre as indústrias, isso corresponde a 23,767 milhões de toneladas de CO₂ liberados na atmosfera (BRASIL, 2017).

Sendo assim, este trabalho de monografia teve como objetivo geral a realização de uma revisão bibliográfica, sobre alternativas que viabilizam a diminuição dos impactos ambientais causados pela construção civil e, os objetivos específicos se desenvolveram com o estudo da viabilidade da reutilização de RCC e RCD como agregados graúdos e o estudo da possibilidade do uso dos RCC e RCD como composto cimentício suplementar.

Trata-se de uma revisão bibliográfica a qual foi desenvolvida através da consulta de normas, leis e artigos técnicos e bibliografias nacionais e internacionais, de modo a adquirir embasamento teórico e científico sobre o aproveitamento de resíduos gerados na indústria da construção civil.

CAPÍTULO 1 - CONTEXTUALIZAÇÃO

O elevado volume de geração de resíduos de construção e demolição (RCD), em função da constante urbanização das principais cidades dos países em desenvolvimento, coloca a indústria da construção civil como umas das maiores infratoras do meio ambiente (YAP et al. 2018). Segundo Rocha (2014), o gerenciamento dos resíduos da construção civil tem por intuito assegurar a correta gestão dos mesmos durante as atividades cotidianas de execução das obras e dos serviços de engenharia. Ele se fundamenta nas decisões estratégicas de não geração, minimização, reutilização, reciclagem e descarte adequado dos resíduos sólidos, primando essencialmente pela não geração destes.

Neste sentido, são apresentados a seguir dados relativos à composição e quantitativos de descarte, leis e normas técnicas brasileiras que regulamentam e, por fim, a reutilização dos RCC e RCD tendo sua aplicação como agregado para a confecção de concreto e em substituição parcial do cimento Portland.

1.1 Definições e Composição dos RCDs e RCCs

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002) tendo a necessidade de visar a implementação de diretrizes para alcançar uma diminuição dos impactos ambientais causados pela geração de resíduos oriundos da construção civil, uma vez que esse resíduo representa um grande percentual dos resíduos sólidos gerados nas áreas urbanas e que sua má disposição em locais inadequados ocasiona impactos ambientais. Para melhor entendimento e esclarecimento da resolução, o CONAMA apresenta as seguintes definições:

- Resíduos da construção civil: são aqueles oriundos 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;

- Geradores: são pessoas, físicas ou jurídicas, públicas ou privadas, responsáveis por atividades ou empreendimentos que gerem os resíduos definidos nesta Resolução;

- Transportadores: são as pessoas, físicas ou jurídicas, encarregadas da coleta e do transporte dos resíduos entre as fontes geradoras e as áreas de destinação;

- Agregado reciclado: é o material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção que apresentem características técnicas para a aplicação em obras de edificação, de infraestrutura, em aterros sanitários ou outras obras de engenharia;

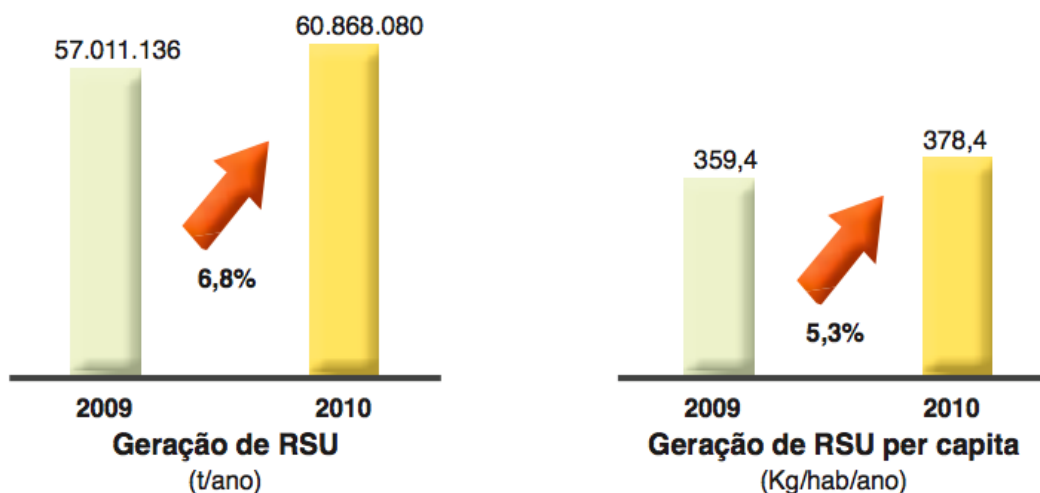
- Gerenciamento de resíduos: é o sistema de gestão que visa reduzir, reutilizar ou reciclar resíduos, incluindo planejamento, responsabilidades, práticas, procedimentos e recursos para desenvolver e implementar as ações necessárias ao cumprimento das etapas previstas em programas e planos;

Lapa (2011) afirma que os resíduos de construção e demolição são compostos em sua maioria por areia, aglomerantes pedras e materiais cerâmicos. As argamassas e os materiais cerâmicos são os mais presentes, porém, sua composição pode variar diante a região em que se encontra o material. E, para um mesmo local, pode-se encontrar uma variação da composição dos resíduos.

1.2 Número de Geração

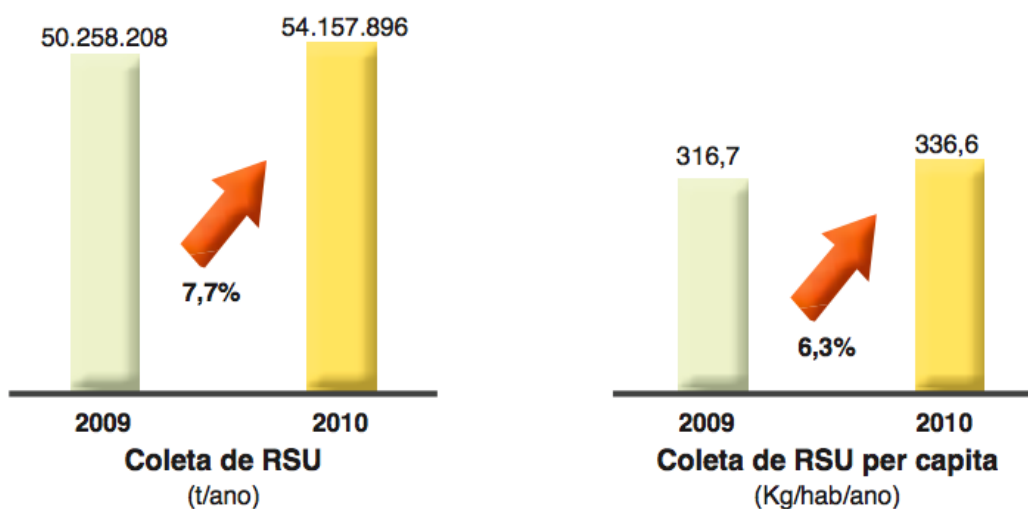
A publicação do Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, desenvolvida anualmente pela ABRELPE, é um documento que apresenta dados da gestão de resíduos no país. Segundo a ABRELPE (2018), este panorama é considerado a mais importante radiografia sobre a gestão de resíduos sólidos no país e apresenta dados nacionais e de suas cinco regiões sobre Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) e RCD. No ano de 2010, a geração de RSU, no Brasil, foi em torno de 60 milhões de toneladas (Figura 1.1), enquanto a coleta de RSU, 54 milhões de toneladas (Figura 1.2). No mesmo período, os municípios coletaram cerca de 31 milhões de toneladas de RCD (ABRELPE, 2010).

Figura 1.1: Geração de Resíduos Sólidos no Brasil nos anos de 2009 e 2010.



Fonte: ABRELPE (2010).

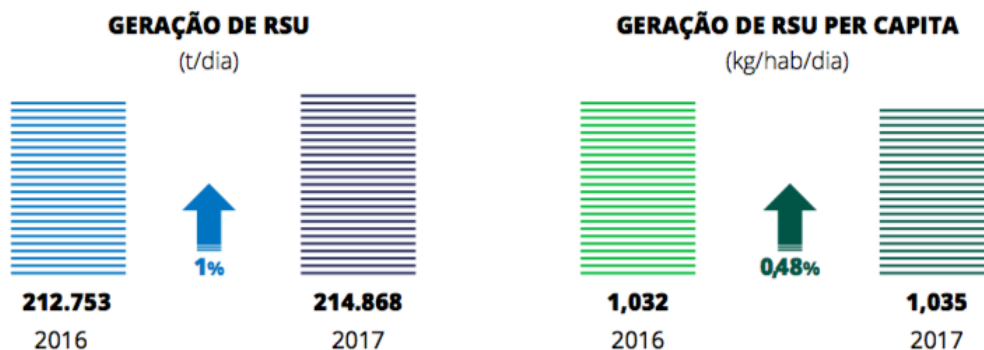
Figura 1.2: Coleta de Resíduos Sólidos no Brasil nos anos de 2009 e 2010.



Fonte: ABRELPE (2010).

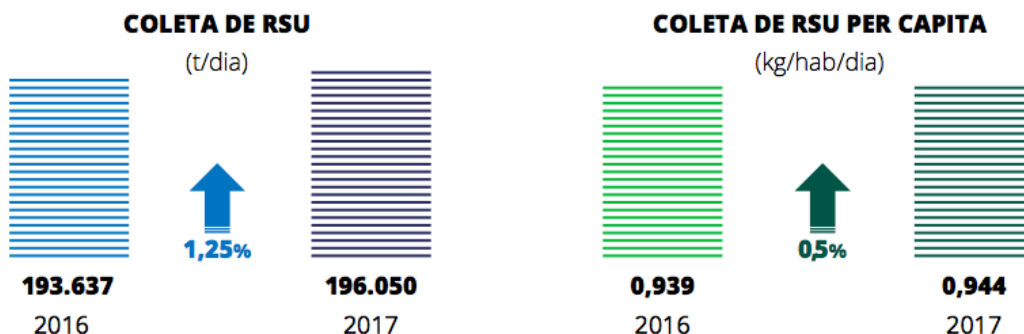
Ainda segundo a Associação, quanto aos dados mais recentes obtidos, a população brasileira apresentou um crescimento de 0,75% entre 2016 e 2017, enquanto a geração per capita de RSU apresentou um aumento de 0,48%, atingindo um total de 214.868 de toneladas ao dia de resíduos, como pode ser observado no gráfico da geração de RSU no Brasil representado pela Figura 1.3, enquanto a coleta de RSU foi de 196.050 toneladas (Figura 1.4) (ABRELPE, 2018).

Figura 1.3: Geração de Resíduos Sólidos no Brasil nos anos de 2016 e 2017.



Fonte: ABRELPE (2018).

Figura 1.4: Coleta de Resíduos Sólidos no Brasil nos anos de 2016 e 2017.



Fonte: ABRELPE (2018).

O montante coletado em 2017 foi de 71,6 milhões de toneladas, registrando uma cobertura de coleta em torno de 91% para o país, o que nos evidencia que 6,9 milhões de toneladas não foram objeto de coleta e, conseqüentemente, tiveram um destino impróprio. Como já discutido anteriormente, é de fundamental importância que se tenha um manejo adequado de tal passivo ambiental, com vistas a se reduzir as chances de maiores impactos ao meio ambiente e à saúde da população.

Na Tabela 1.1 mostra que os municípios brasileiros coletaram cerca de 45 milhões de toneladas de RCD no ano de 2017, cerca de 123.412 toneladas ao dia, apresentando uma redução diária de 198 toneladas quando comparamos com o ano de 2016. Observando os valores de RSU e RCD, é possível constatar que aproximadamente 62,9% de todo resíduo sólido coletado no Brasil atualmente é proveniente da atividade de construção civil. Considerando os valores apresentados

nas tabelas seguintes, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5 e 1.6, os quais mostram os valores por região, considerou-se que os índices foram praticamente estáveis aos valores registrados ao ano anterior (ABRELPE, 2018).

Tabela 1.1: Quantidade total de RCD coletados pelos municípios do Brasil.

COLETA DE RCD – BRASIL			
REGIÃO	2010	2016	2017
	RCD coletado (tx1000)	RCD coletado (tx1000)	RCD coletado (tx1000)
Brasil	30.998	45.120	45.048

Fonte: Adaptado de ABRELPE (2010, 2018).

Tabela 1.2: Coleta de RCD na Região Norte do Brasil.

COLETA DE RCD – REGIÃO NORTE			
REGIÃO	2010	2016	2017
	RCD coletado (tx1000)	RCD coletado (tx1000)	RCD coletado (tx1000)
Brasil	1.096	1.722	1.725

Fonte: Adaptado de ABRELPE (2010, 2018).

Tabela 1.3: Coleta de RCD na Região Nordeste do Brasil.

COLETA DE RCD – REGIÃO NORDESTE			
REGIÃO	2010	2016	2017
	RCD coletado (tx1000)	RCD coletado (tx1000)	RCD coletado (tx1000)
Brasil	5.614	8.901	8.973

Fonte: Adaptado de ABRELPE (2010, 2018).

Tabela 1.4: Coleta de RCD na Região Centro-Oeste do Brasil.

COLETA DE RCD – REGIÃO CENTRO-OESTE			
REGIÃO	2010	2016	2017
	RCD coletado (tx1000)	RCD coletado (tx1000)	RCD coletado (tx1000)
Brasil	3.596	5.041	5.020

Fonte: Adaptado de ABRELPE (2010, 2018).

Tabela 1.5: Coleta de RCD na Região Sudeste do Brasil.

COLETA DE RCD – REGIÃO SUDESTE			
REGIÃO	2010	2016	2017
	RCD coletado (tx1000)	RCD coletado (tx1000)	RCD coletado (tx1000)
Brasil	16.094	23.395	23.382

Fonte: Adaptado de ABRELPE (2010, 2018).

Tabela 1.6: Coleta de RCD na Região Sul do Brasil.

COLETA DE RCD – REGIÃO SUL			
REGIÃO	2010	2016	2017
	RCD coletado (tx1000)	RCD coletado (tx1000)	RCD coletado (tx1000)
Brasil	4.598	6.102	6.012

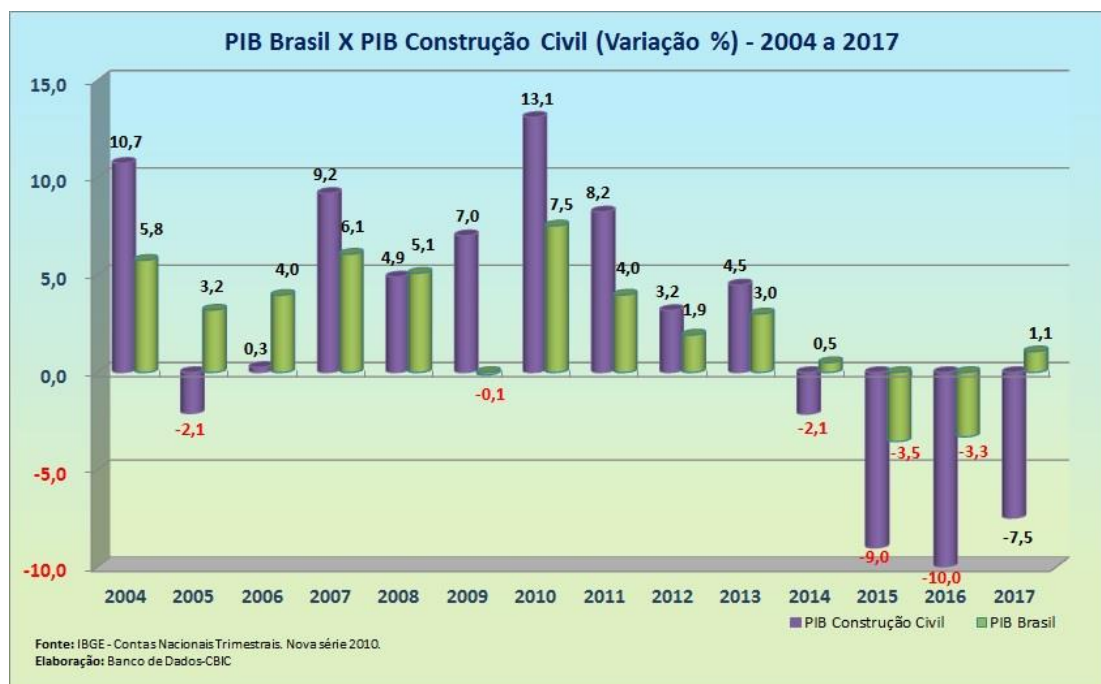
Fonte: Adaptado de ABRELPE (2010, 2018).

A ABRELPE, através de seus relatórios anuais, demonstra que entre os anos de 2010 a 2014 houve uma crescente expansão quanto aos valores coleta de RCD, o que pode ser associado a uma melhoria na gestão dos mesmos, com investimento no mercado e nos serviços de limpeza urbana pelos municípios brasileiros e, evidencia, também, um crescimento do segmento de construção civil neste período. Porém, de 2014 até os dias atuais observa-se uma estabilidade dos valores de coleta, os quais também podem ser reforçados pelas questões de ordem econômica (CBIC, 2018).

A participação da indústria da construção civil na economia do Brasil é bastante expressiva, como pode ser observado nos índices do Produto Interno Bruto

ao longo dos anos, Figura 1.5. Sendo assim, pode-se associar as informações apresentadas nas tabelas supracitadas com os dados da situação econômica no Brasil dos últimos anos, uma vez que a indústria da construção civil atua diretamente na mesma e, a produção de resíduos acompanha o crescimento ou queda das atividades do setor.

Figura 1.5: Comparativo entre o PIB do Brasil e o PIB da Construção Civil no Brasil nos anos de 2004 a 2017.



Fonte: CBIC (2018).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, em sua Pesquisa Anual da Indústria da Construção (IBGE, 2010), em 2010, a economia do país foi influenciada por um cenário internacional favorável, sobretudo pelo fortalecimento da demanda interna, com elevação da renda das famílias e maior oferta de crédito, que impulsionaram o resultado do Produto Interno Bruto – PIB brasileiro, 7,5%. Com isso, a atividade da construção no PIB cresceu 11,6%, atingindo 5,7% de participação em tal ano. Porém, atualmente o país apresenta um cenário diferente de aproximadamente dez anos atrás, segundo a Câmara Brasileira da Indústria da Construção – CBIC (2017), a retração de 3,5% do PIB brasileiro em 2016 confirma a magnitude da crise econômica, especialmente na construção, com uma queda de 5,1% do mesmo índice, segundo o IBGE.

1.3 Leis e Normas Vigentes

Considerando um contexto de elevada produção e consequente descarte de resíduos, foi criada no Brasil a Lei Federal nº 12.305/2010, Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). A qual, segundo Wirth (2016), estabelece a gestão integrada, que articula a dimensão social, ambiental e econômica presente na administração dos resíduos sólidos.

Segundo a Lei da PNSR de número 12.305/2010 (BRASIL, 2010), em seu Art. 3º, inciso XVI, o conceito de resíduos sólidos é o seguinte:

XVI - resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível;

Além disso, o conceito de RCC, em termos da lei 12.305/10 (BRASIL, 2010) consiste em resíduos gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras, incluindo os obtidos do resultado da preparação e escavação de terrenos para construção.

De acordo com Pivetta (2017), devido a crescente geração destes resíduos, a demanda por matérias primas na construção e o aumento de desperdícios de materiais em obras, que propiciou a procura por maneiras de se mitigar ou minimizar os impactos gerados por estes.

Neste sentido, uma das políticas nacionais desenvolvidas para uma gestão adequada de resíduos sólidos foi a publicação da Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002), na qual os RCC são conceituados segundo o Artigo 2º, inciso I:

I - Resíduos da construção civil: são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha;

Contudo, já no artigo 3º, a CONAMA 307 (BRASIL, 2002) classifica os resíduos de construção em quatro diferentes grupos e, segundo tal resolução, os geradores de resíduos deverão ter como objetivo prioritário a não geração de resíduos e, secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem e a destinação final.

Desde sua primeira publicação, a CONAMA 307 passou por algumas alterações e complementações, incluindo suas diretrizes quanto às classes de resíduos. Negalli (2014) ressalta que desde 2002 a CONAMA 307 foi posteriormente complementada e alterada pela Resolução CONAMA nº 348 (CONAMA, 2004), a qual incluiu os resíduos de amianto na categoria de resíduos perigoso, Classe D; pela Resolução CONAMA nº 431 (CONAMA, 2011), que alterou o Art. 3º de tal resolução, estabelecendo assim uma nova classificação para resíduos de gesso, Classe C. A última mudança observada na mesma pode ser encontrada pela resolução de nº CONAMA nº469 (CONAMA, 2015), com alterações na Classe B de resíduo. Sendo assim, as classes de resíduos conforme a política citada é a seguinte:

- **Classe A:** são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

- a) De construção e demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;

- b) De construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;

- c) Processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios, entre outros) produzidas nos canteiros de obras;

- **Classe B:** São os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso;

- **Classe C:** São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação;

- **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.

No que diz respeito à normatização técnica, atualmente existem cinco normas, estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, que apresentam especificamente a temática de RCD, com vistas a regulamentar a gestão e manejo adequado, tendo como alicerce a Resolução nº 307 da CONAMA.

Tabela 1.7: Normas técnica regulamentadoras aplicáveis aos RCD e RCC.

NORMA TÉCNICA	DESCRIÇÃO
ABNT NBR 15.112 (ABNT, 2004)	Resíduos da construção civil e resíduos volumosos, áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação.
ABNT NBR 15.113 (ABNT, 2004)	Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação.
ABNT 15.114 (ABNT, 2004)	Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação.
ABNT 15.115 (ABNT, 2004)	Agregados reciclados de resíduos sólidos de construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos.
ABNT 15.116 (ABNT, 2004)	Agregados reciclados de resíduos sólidos de construção civil – utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos.

Fonte: Adaptado da ABNT (2004).

Diante disso, fica claro o interesse em se desenvolver uma solução para o problema e demanda de direcionamento de resíduos de construção e demolição. Uma solução que já vem sendo alvo de muitas pesquisas científicas é o beneficiamento desse material para a produção de novos concretos.

CAPÍTULO 2 - REUTILIZAÇÃO DO RCD E RCC

A heterogeneidade da composição dos resíduos de construção e demolição, é considerada um limitador para a possível utilização do material. Ângulo (2010) afirma que um dos problemas é essa variabilidade da composição. Isso ocorre diante a vasta amplitude da diversidade de métodos construtivos, o que difere os materiais entre si, na qualidade e em sua composição (SILVA; DE BRITO; DHIR, 2014).

Yeheyis et al. (2013) explicam que é um grande desafio a utilização desses materiais como um insumo para um novo material que ocasionam uma solução ecoeficiente na construção, trazendo benefícios para o meio ambiente. Por exemplo, Frotté *et al.* (2017) dizem que os resíduos utilizados em sua pesquisa, possuía uma ampla gama de diferentes materiais com uma granulometria bem diferente. Portanto, é de suma importância que seja feito um controle tecnológico maior, para que possa ser realizado uma separação desse material, diante sua origem.

Diante a heterogeneidade dos resíduos, para sua reutilização, é necessário que seja feito um gerenciamento desse material, desde o processo de produção, até sua coleta e o seu beneficiamento. É durante o beneficiamento que se caracteriza o resíduo e o seu destino (SOUZA, 2006).

Silva, Brito e Dhir (2017) acreditam na possibilidade de se ter um agregado reciclado oriundo dos resíduos de construção e demolição com uma boa qualidade e bem próximo do agregado natural, com o seu uso na confecção de concreto. Eles afirmam que se caracterizar o agregado reciclado diante de suas propriedades intrínsecas, é possível aumentar a utilização do agregado natural sem causar uma perda significativa em seu desempenho.

2.1 Principais Aplicações

Uma das maneiras de mitigar os danos causados pela indústria da construção civil é a reutilização de RCD na própria indústria. Pinto (1999) relata que em alguns países a reutilização de resíduos vem sendo praticada desde o fim da segunda guerra mundial. No Brasil essa prática se iniciou nos anos 80 (PINTO, 1999; GUILGUE, 2011). Rodrigues (2013) mostra que em grande parte dos países

européus, o seu início se deu na década de 90. Para Coelho e Brito (2013) a maior parte dos resíduos gerados pela construção civil podem ser absorvidos por ela mesmo, essa absorção se dá através da reutilização e reciclagem desses resíduos e de sua incorporação junto a outros elementos, gerando novos materiais como: agregados graúdos e miúdos, blocos, tubos de drenagem, elementos para pavimentação, contenções, dentre outros.

Silva (2010) aponta que a aplicação dos RCD, provenientes do concreto, em construções rodoviárias tem exigências menos rigorosas, nos quesitos de granulometria e constituintes, isso quando comparado com outra aplicação dos RCD. Em função disso, Rocha (2016) aponta as construções rodoviárias, na União Europeia, como o setor mais promissor para a aplicação de resíduos de concreto. Na tabela 2.1, mostra-se algumas das principais aplicações para os resíduos de construção e demolição.

Tabela 2.1: Principais aplicações para a reutilização de RCD e RCC.

ORIGEM DO RCD	SITUAÇÃO	APLICAÇÃO
Concreto	Triturado, resultante de demolições	Material de aterro, base de enchimento para valas de tubulações e pisos térreos de edifícios
	Triturado e peneirado com poucas ou nenhuma impurezas	Sub-base na construção de estradas, agregado reciclado para a fabricação de concreto e base de enchimento para sistemas de drenagem
	Triturado e peneirado, limpo de impurezas e com menos de 5% de tijolo	Construção de estradas, produção de concreto, material de aterro estrutural e base de enchimento para valas de tubulações
Concreto (consoante o grau de granulometria)	Elemento demolido	Material de aterro, pavimento
	Fragmentado (de 200-400 mm)	Proteção de diques
	Britado (menos de 50 mm)	Sub-base, enchimento, material de fundação
	Britado e desgastado (menor que 40 mm)	Agregado de concreto, agregado de concreto betuminoso para sub-base, enchimento
	Pó (subproduto da britagem)	Ligante para concreto betuminoso, material de estabilização de solos
	Finos após britagem e peneiramento (fração dos 0 aos 4 mm)	Incorporação na construção de estradas substituindo a areia, ou em argamassas, devido às suas propriedades pozolânicas (SILVA, 2010).
	Argamassa	Após moagem e desidratação
Alvenaria	Tijolos	Agregados para concreto, agregados para produção de peças pré-fabricadas de concreto, agregados para tijolos de silicato de cálcio, material de enchimento para valas e tubulações, material de enchimento e estabilização de estradas rurais; revestimento de campos de ténis
	Azulejos	Material de enchimento
	Pedra	Reutilização direta, conservação e restauro
Madeira	-	Mobiliários, soalhos, portas, caixilhos de janelas, estacas para plantas, reparação, material de enchimento para a correção de taludes, incineração
Metais	Alumínio	Sucata e fabricação de novos elementos
	Aço e ferro	Reutilização direta
Vidro	-	Produção de novo vidro e construção de estradas
Plástico	-	Incineração com recuperação energética, reciclagem por processamento mecânico (nem todos os plásticos), utilização na reciclagem de fontes energéticas (como o petróleo bruto e o gás natural)
Materiais de isolamento	-	Moldagem de tijolos artificiais, espalhamento sobre o produto não curado (depois da espuma estar separadas em fibras simples), incineração
Materiais de construção que contêm gesso	-	Integração em placas para tetos e pavimentos, no cimento expansivo e no material de enchimento em obras de estradas
Pavimentos	Asfálticos	Construção e manutenção de estradas com pavimento asfáltico ou agregados para bases e sub-bases, agregados para bermas e camadas drenantes e em pavimentos estabilizados
	De Concreto	Construção e reabilitação de estradas com agregados para concreto, agregados em pavimentos asfálticos, material para bases de taludes e agregados não ligados para bases de estradas
Solos	-	Terra arável, aterros de estradas, integração paisagística (minas e pedreiras) e acerto topográfico

Fonte: Adaptado de Silva (2010), Rocha (2016) e Menezes (2018).

Estudo recente mostra que o cimento presente em argamassa pode ser recuperado, o que indica ser possível reutilizar o cimento de RCD (MENEZES, 2018). Diante disto, serão apresentadas duas aplicações para os RCDs e RCC: agregado reciclado e como material cimentício suplementar (MCS).

2.2 Agregados Reciclados

A definição de agregado reciclado diante a NBR 15116 (ABNT, 2004) é como uma obtenção do beneficiamento dos RCDs e RCCs, que possuem algumas características que o permitem ser utilizados como insumo durante a execução de obras. O mesmo, é considerado um insumo importante para a produção de materiais cimentícios, e acarreta influências diretas nas características que se quer alcançar do material produzido (KOPER *et. al.* 2017).

Uma das diferenças entre os agregados naturais e os agregados reciclados é o fato dos reciclados possuírem uma maior capacidade de absorver água, que é considerado um limitador para a utilização desse material em materiais cimentícios e uma angularidade sistemática. Leite (2001) explica que se encontra materiais contaminantes na composição dos agregados reciclados que mesmo em pequenas quantidades, comprometem as propriedades do material produzido.

Essa heterogeneidade é composta, mesmo que em pequenas proporções, por vidro, plástico, madeira e partículas de solo, que são considerados materiais contaminantes, podem interferir diretamente nas propriedades dos materiais (SILVA *et al.*, 2010). Apesar da heterogeneidade dos RCDs e RCCs serem consideradas um fator limitante para sua utilização, acredita-se que esses materiais contaminantes possam ser identificados e separados.

2.2.1 Granulometria, forma e textura

Diante os agregados naturais, Bazuco (1999) define que os agregados reciclados, tanto graúdos, quanto miúdos, possuem um maior módulo de finura, diante uma granulometria mais grossa em relação ao agregado natural.

Existem algumas normas que regularizam os agregados reciclados. Em relação a textura e sua forma são normalizadas pelas ASTM D3398 (2014), ASTM

C295 (2012), e pela norma brasileira NBR 7809 (ABNT, 2006). Já os ensaios de caracterização da composição granulométrica são as ASTM C136 (2014), ASTM C117 (2017) e pela norma brasileira NBR NM 248 (ABNT, 2003).

2.2.2 Análise das influências do uso de agregados reciclados nas propriedades do concreto

2.2.2.1 Propriedades mecânicas

Alguns autores, tais como, Arezoumandi *et al.*, 2015; Pacheco *et al.*, 2015; Rahal e Al-Khaleefi, 2015, mostram que a substituição do agregado natural pelo agregado reciclado pode ser feita entre 50% e 100%, sem que haja interferência na resistência mecânica do concreto, mas para isso os agregados reciclados devem ser de origem de resíduos cinza e de boa qualidade. Araújo *et al.* (2015) mostram através da tabela abaixo que se pode manter a resistência mecânica do concreto com substituição de 100% dos agregados graúdos, entretanto foi necessário a utilização de aditivo superplastificante. A tabela 2.2 mostra os traços utilizados e a tabela 2.3 os resultados dos ensaios de tração e compressão.

Tabela 2.2: Composição do traço para confecção de 1 m³ de concreto.

TRAÇO	CIMENTO (kg/m ³)	Areia Natural (kg/m ³)	Brita 0 (kg/m ³)	Brita 1 (kg/m ³)	Água (kg/m ³)	Agregado Reciclado (kg/m ³)	Aditivo (kg/m ³)	Substituição (%)
C-0	480,3	689,4	317,2	643,4	216,1	-	1,68	0
C-19	474,5	681,1	237,2	533,8	213,5	177,9	2,85	19
C-43	471,7	677,1	131,7	405,9	212,3	405,9	3,54	43
C-75	461,9	663,0	-	230,9	207,8	692,8	3,46	75
C-100	468,6	672,6	-	-	210,9	937,2	5,62	100

Fonte: Adaptado de Araújo *et al.* (2015).

Tabela 2.3: Resultado dos ensaios de tração e compressão no concreto com agregado reciclado.

Traço	Substituição (%)	$f_{cm,j=7}$ (MPa)	$f_{cm,j=28}$ (MPa)	$f_{ctm,sp,j=28}$ (MPa)	$E_{c,j=28}$ (GPa)
C-0	0	26,95 ± 4,02	36,39 ± 1,56	3,88 ± 0,12	29,86 ± 1,00
C-19	19	33,97 ± 1,39	41,23 ± 0,59	3,95 ± 0,02	28,04 ± 0,06
C-43	43	32,79 ± 3,55	39,60 ± 1,98	3,63 ± 0,41	28,04 ± 0,56
C-75	75	29,34 ± 1,52	35,79 ± 0,48	3,66 ± 0,09	26,34 ± 0,91
C-100	100	28,77 ± 1,38	38,30 ± 1,07	3,60 ± 0,18	28,15 ± 0,88

Fonte: Adaptado de Araújo *et al.* (2015).

➤ Resistência à compressão

Alexandridou, Angelopoulos e Coutelieris (2017), que utilizaram agregados reciclados oriundos de resíduos de construção e demolição, observaram que com uma substituição em até 25%, não houve nenhuma alteração significativa na resistência a compressão dos concretos produzidos. Na medida que aumentou o teor de substituição, houve uma redução na resistência à compressão em torno de 60 a 80%.

Os resultados obtidos por Pedro *et al.* (2014), também sugere que a substituição de agregados naturais por agregados reciclados, está associada com a menor resistência à compressão do que o concreto de referência. Os autores acreditam que diante a argamassa que estava aderida à superfície do agregado, ocasionou um aumento na absorção de água dos agregados e diminuiu a densidade das partículas quando relacionado ao concreto de referência.

No entanto, estudos apresentados por Wada (2010), Medina *et al.* (2012) e Etxeberria e Vegas (2014), que utilizaram resíduos provenientes de materiais cerâmico, como agregados, em concretos, obtiveram resultados positivos em relação a resistência à compressão. Os autores utilizaram um teor de substituição variando de 10 a 80%, alcançando um aumento na resistência à compressão de 11 a 25%, em relação ao concreto de referência. Os autores acreditam que este aumento pode ser justificado em relação à alta absorção de água do agregado

reciclado, que tende a reduzir a relação água/cimento efetiva da mistura, contribuindo assim para essa propriedade mecânica.

➤ **Resistência à tração**

Alves *et al.* (2014) e Bravo *et al.* (2015), concluem que a resistência à compressão e à tração do concreto são similares. A medida que se aumenta o teor de substituição, conseqüentemente ocorre uma diminuição das resistências. Bravo *et al.* (2015) apresenta que essa propriedade diminuiu, cerca de 15%, diante um aumento do teor de substituição. E, acrescenta que essa redução pode estar atrelada diante um crescimento da porosidade da pasta de cimento quando se acrescenta mais resíduos.

Os resultados observados para a resistência à tração do concreto com agregados reciclados, foram similares aos de resistência à compressão. Alguns resultados apresentados por González-Fonteboa *et al.* (2011), indicam que não houve influência significativa com a substituição. Em contrapartida, Medina, Sánchez de Rojas & Frías (2012), observaram um comportamento diferente. Os autores substituíram o agregado natural, por agregado reciclado cerâmico e diante uma substituição entre 15 e 25%, observou-se um aumento na resistência à tração.

➤ **Módulo de elasticidade**

González-Fonteboa *et al.* (2011), observaram que houve uma queda do módulo de elasticidade do concreto a medida que aumentou o teor de substituição de agregados naturais por agregados reciclados. Acredita-se que a relação a/c também influenciou no resultado. Os CPs produzidos com uma relação a/c de 0,50, apresentaram uma queda maior.

No entanto Pedro *et al.* (2014) observaram que os concretos produzidos com agregado reciclado de concreto, alcançaram um modulo de elasticidade maior do que os concretos produzidos com agregado reciclado de lamas residuais de concreto usinado. Uma maior deformabilidade entre esses dois tipos de resíduos e os agregados naturais, é obtida diante um menor módulo de elasticidade e diante uma grande dependência do modulo do concreto no modulo de elasticidade dos agregados. Os autores, também, observaram que mesmo o concreto de referência

possuir um modulo de elasticidade maior que os concreto que continham resíduos, todos apresentaram uma rigidez semelhante.

2.2.2.2 Durabilidade

Evangelista e De Brito (2010) acreditam que a durabilidade de um concreto está relacionada com a capacidade que um fluido possui em penetrar em uma microestrutura de concreto, assim, permitindo a entrada de partículas que reagem e destroem sua estabilidade química. Esta penetração pode ocorrer por difusão, permeação e capilaridade. Abaixo estão relacionados alguns parâmetros de durabilidade.

➤ **Absorção de água por imersão e por capilaridade**

Bravo *et al.* (2015) afirmam que o teste de absorção de água por imersão permite analisar a existência de poros em um concreto. A absorção de água por capilaridade consiste na introdução de fluidos no concreto diante a ação de gradientes de pressão.

Os resultados apresentados por Evangelista e de Brito (2010), Bravo *et al.* (2015), Cartuxo *et al.* (2016) e Alexandridou *et al.* (2018), mostraram que a medida que aumenta o teor de substituição dos agregados naturais por agregados reciclados ocorreu o aumento da absorção de água tanto por capilaridade quanto por imersão. A quantidade de água absorvida aumenta diante a criação de poros capilares na presença de resíduos.

➤ **Carbonatação e Penetração de íons cloreto**

Bravo *et al.* (2015) afirmam que a carbonatação e a penetração íons cloreto, são responsáveis pela despassivação do aço, o que causa danos nos concretos produzidos com os agregados reciclados de construção e demolição. Lacerda (2016) explica que a carbonatação é um processo que ocorre lentamente no concreto. Ao ocorrer penetração através da difusão, no interior do concreto, o CO₂ que está presente na atmosfera irá se dissolver diante a umidade que está presente na

mistura. E, assim, formará o H_2CO_3 , que irá reagir com o $Ca(OH)_2$, e originará o carbonato de cálcio ($CaCO_3$), ocorrendo uma diminuição do pH, reduzindo a alcalinidade da solução dos poros, que, diante estruturas de concreto armado, ocorrerá a despassivação do aço, iniciando a corrosão das armaduras (CASTELLOTE *et al.*, 2009).

Diante pesquisas realizadas por Evangelista e de Brito (2010), Bravo *et al.* (2015), Cartuxo *et al.* (2016) e Alexandridou *et al.* (2018), observou-se um aumento das propriedades de carbonatação e à penetração de íons cloretos, diante o aumento do teor de substituição do agregado natural pelo agregado reciclado de construção e demolição. Bravo *et al.* (2015), acrescentam que esses resultados já eram esperados pelo fato das propriedades estarem relacionadas com a absorção de água, que é uma característica acentuada nos resíduos de construção e demolição.

Pedro *et al.* (2014), também, observaram que houve uma maior profundidade de carbonatação diante o aumento do teor de substituição. O aumento ocorrido, foi proporcional a classe de resistência das misturas realizadas. Eles explicam que esse avanço da frente de carbonatação das misturas estão relacionadas com sua porosidade.

Os autores, também, analisaram a penetração de íons cloretos nos concretos, e concluíram que as misturas que continham agregados reciclados de concreto apresentaram um menor desempenho de resistência à migração de íons cloretos. Este fato pode ser justificado por uma maior permeabilidade do agregado reciclado de concreto, que é causada, principalmente, pela argamassa aderida no resíduo.

Contudo, os produzidos com agregado reciclado de lamas residuais de concreto usinado, demonstraram um desempenho superior. Porém, o seu desempenho foi inferior ao concreto de referência. E, diante as observações, os autores concluíram que ambos os concretos, apresentaram coeficientes de migração de íons cloretos, semelhantes a migração nos concretos de referência.

Etxeberria & Vegas *et al.* (2014), utilizaram agregado reciclado cerâmico, e observaram que a substituição do agregado natural pelo agregado reciclado cerâmico, com substituições de até 50%, se mostrou próxima ou superior diante os concretos de referência, no período de um ano. Ressaltando que a penetração dos íons cloretos foram reduzidas nesses concretos.

Em contrapartida, Medina *et al.* (2015), também avaliaram a penetração de íons cloretos nos concretos. Os autores utilizaram resíduos provenientes de bacias sanitárias, nas proporções de 20 e 25%. Após a análise de resultados, os autores concluíram a migração de íons cloretos, nos concretos produzidos que essa substituição de agregados, foi maior do que nos concretos de referências (4 e 8%, respectivamente para os teores utilizados).

2.3 Material Cimentício Suplementar

O processo de obtenção do Cimento Portland é muito agressivo para o meio ambiente, tanto na extração da matéria prima quanto na queima para formação do clínquer, com isso faz com que haja estudos para minimizar os danos e impactos que essa atividade gera.

Alguns autores internacionais relatam sobre a capacidade de reidratação do cimento e sua reutilização (CASTELLOTE *et al.* 2004). Guilgue (2011) diz que esse novo tipo de cimento, tratado termicamente, apresenta característica limitada quanto a resistência mecânica, entretanto a inserção de material pozolânico pode gerar um material cimentício com resistência mais elevada, em comparação com o cimento tratado termicamente. De acordo com a NBR 12653 (ABNT, 2014), materiais pozolânicos são silicosos ou silicoaluminosos que, por si só, possuem pouca ou nenhuma atividade aglomerante, mas que, quando finamente divididos e na presença da água, reagem com o hidróxido de cálcio à temperatura ambiente para formar compostos com propriedades aglomerantes.

Outros autores vêm estudando sobre a possibilidade de estar reutilizando os RCDs e RCCs na fabricação do Cimento Portland, fazendo a substituição parcial do Cimento Portland por finos de resíduos moídos, proveniente de argamassa, eles apontam que um dos fatores determinante para essa substituição é a moagem dos RCD. A finura final deve ser menor ou igual a finura do Cimento Portland (PERREIRA, 2015; ROCHA, 2016).

Em se tratando de durabilidade e desempenho, a substituição de 5% do Cimento Portland por RCD gera perdas insignificantes, assegurando uma boa

qualidade ao cimento. Quando se chega a um percentual de 10% de substituição, o cimento tem perdas mais significativas, inviabilizando o seu uso em situações que há maiores exigências de desempenho (PERREIRA, 2015; ROCHA, 2016).

Pereira (2015) e Rocha (2016) através de ensaios laboratoriais mostraram resultados após realizarem a moagem dos resíduos e substituição parcial pelo cimento *in natura*. Nas tabelas abaixo demonstra-se alguns dos resultados, sendo o “Estudo 1” realizado por Rocha (2016) e o “Estudo 2” realizado por Pereira (2015).

Tabela 2.4: Comparativo da consistência normal e dos tempos de pega.

Pasta	Subs. de cimento por RCD (%)	Água (g)	a/c	Consistência normal (mm)	Tempo de início de pega	Diferença entre tempos (em relação ao CP0)	Tempo de fim de pega	Diferença entre tempos (em relação ao CP0)
Estudo 1								
CP0	0	142	0,28	4	2h35m	–	3h25m	–
CP5	5	140	0,28	4	2h49m	+ 14min	3h44m	+ 19min
CP10	10	141	0,28	5	2h31m	- 4min	3h46m	+ 21min
Estudo 2								
CP0	0	142	0,28	6	3h49m	–	5h24m	–
CP5	5	144	0,29	6	4h10m	+ 21min	6h10m	+ 46min
CP10	10	147	0,29	4	5h03m	+ 1h14m	6h58m	+ 1h34m

Fonte: Adaptado de Rocha (2016).

Tabela 2.5: Comparativo, entre os estudos, de trabalhabilidade do concreto.

Argamassa	Subs. de cimento por RCD (%)	Tabalhabilidade (mm)	Desvio padrão
Estudo 1			
CP0	0	228	2,4
CP5	5	225	2,6
CP10	10	223	3,1
Estudo 2			
CP0	0	233	2,4
CP5	5	235	1,6
CP10	10	235	4

Fonte: Adaptado de Rocha (2016).

As variações apresentadas no comparativo da trabalhabilidade podem estar associadas a erros de calibração e leitura dos instrumentos laboratoriais.

Tabela 2.6: Resultado dos ensaios de resistência a flexão dos corpos de prova com substituição parcial do Cimento Portland por resíduos moídos.

Argamassas	Subs. de cimento por RCD (%)	Resistências médias à flexão (em MPa)					
		7 dias	Desempenho (%)	28 dias	Desempenho (%)	90 dias	Desempenho (%)
Estudo 1							
CP0	0	6,7	–	7,2	–	7,8	–
CP5	5	5,7	-15	7,1	-1	7,5	-3
CP10	10	5,8	-13	6,7	-7	7,8	0
Estudo 2							
CP0	0	6	–	7,1	–	7,8	–
CP5	5	4,9	-20	6,7	-5	7,5	-4
CP10	10	5,1	-15	6,3	-11	7,2	-8

Fonte: Adaptado de Rocha (2016).

Tabela 2.7: Resultado dos ensaios de resistência a compressão dos corpos de prova com substituição parcial do Cimento Portland por resíduos moídos.

Resistências médias à compressão (em MPa)							
Argamassas	Subs. de cimento por RCD (%)	7 dias	Desempenho (%)	28 dias	Desempenho (%)	90 dias	Desempenho (%)
Estudo 1							
CP0	0	45,3	–	54,6	–	60,3	–
CP5	5	42,1	-7	49,4	-9	55,5	-8
CP10	10	37,5	-17	45,7	-16	54,1	-10
Estudo 2							
CP0	0	35,5	–	46,3	–	53,4	–
CP5	5	28,5	-20	42,3	-9	51,3	-4
CP10	10	28,4	-20	38,1	-18	46,8	-12

Fonte: Adaptado de Rocha (2016).

Percebe-se que há estudos preliminares e alternativas aplicáveis para a reutilização do cimento e diminuição dos efeitos poluentes durante a sua produção.

Menezes (2018) aponta sobre a possibilidade da reutilização do cimento, proveniente de RCD e RCC, tratando-o termicamente. A autora relata que o aquecimento a uma temperatura de aproximadamente 550° C faz com que o cimento tenha fases parecidas com as do cimento virgem e, juntamente, com finos de quartzo (3,6 µm) com atividade pozolânica, proveniente da moagem da areia presente no RCD e RCC, tem propriedades semelhantes com as do cimento virgem, tornando viável a sua aplicação.

CAPÍTULO 3 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O levantamento bibliográfico supracitado neste trabalho mostra ser possível minimizar os impactos ambientais gerados pela indústria da construção, sejam eles provenientes das extrações das matérias primas ou durante a produção do cimento Portland, isso através da reincorporação dos RCDs e RCCs na própria construção, que também reduz outros impactos ambientais e sociais que a indústria da construção gera, quando se tem o término da vida útil das construções.

Conclui-se que para uma empregabilidade eficaz dos RCCs e RCDs é de suma importância o seu gerenciamento e beneficiamento prévio, em função de sua heterogeneidade.

Tendo sua aplicação como agregado reciclado, em substituição do agregado natural, para a produção de concreto, o seu alto fator de absorção de água se torna um limitador do seu uso. Alguns estudos apontam ser possível substituir o agregado natural por agregado reciclado, sem que haja interferência nas propriedades mecânicas do concreto, desde de que ele seja controlado mantendo sua substituição em torno de 25%, a medida que esse percentual aumenta há uma perda significativas nas propriedades mecânicas, quando comparadas com o concreto de referência. Entretanto, outros estudos mostraram ser possível realizar a substituição dos agregados naturais por agregados reciclados em até 100%, sem que haja perdas significativas nas propriedades mecânicas do concreto.

A que tudo indica, essa divergência de resultados, em função do percentual de substituição de agregados naturais por agregados reciclados, esteja atrelada a origem dos resíduos bem como o controle do fator a/c , no traço do concreto, em função da elevada capacidade de absorção dos resíduos reciclados, e ao uso de aditivo superplastificante no traço do concreto.

Essa característica de elevada capacidade de absorção de água predominantes nos agregados reciclados, afeta a durabilidade do concreto. Nos estudos apresentados, essa característica propiciou na aceleração da carbonatação e em uma maior penetração de ions cloreto no concreto. Os melhores resultados foram obtidos quando utilizaram agregados reciclados provenientes de resíduos

cerâmicos, mas mantendo-se com uma qualidade inferior quando comparado com o concreto de referência.

Outros métodos de reaproveitamento dos RCCs e RCDs, visando um processo ecoeficiente, estão associados a produção do cimento Portland.

Alguns estudos mostraram ser possível realizar a substituição do cimento Portland *in natura* por finos de resíduos, provenientes de argamassa, moídos. Essa substituição se limitou a 5% quando se há uma maior exigência de resistência mecânica do cimento.

Um outro método está na “fabricação” de um novo cimento, trata-se do cimento tratado termicamente, alguns estudos indicam ser possível a reutilização do cimento, após os resíduos, também provenientes de argamassa, passarem por processo de moagem e de tratamento térmico, fazendo com que haja a desidratação dos finos e que eles possam ser hidratados novamente. Para que se mantenha as propriedades mecânicas do cimento tratado termicamente, se faz necessário a incorporação de materiais pozolânicos em sua composição. Essa composição pozolânica se faz presente na areia quartzosa, quando desidratada e moída a uma granulometria de aproximadamente 3,6 μm . O quartzo está presente nos resíduos de argamassa e durante o processo de desidratação do cimento e moagem, se incorpora ao material cimentício suplementar.

Há poucos estudos retratando o uso do cimento tratado termicamente com finos de quartzo, porém já se tem o indício de ser possível a sua aplicação.

Diante disto, mostra ser possível a reutilização de resíduos como agregado de concreto e composto cimentício suplementar, visando um método ecoeficiente de produção, tudo isso atrelado ao gerenciamento e beneficiamento dos RCCs e RCDs.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDRIDOU, C.; ANGELOPOULOS, G. N.; COUTELIERIS, F. A. Mechanical and durability performance of concrete produced with recycled aggregates from Greek construction and demolition waste plants. **Journal of Cleaner Production**, p. 1-13, dec. 2017.

ALVES, A. V. *et al.* Mechanical properties of structural concrete with fine recycled ceramic aggregates. **Construction and Building Materials**. v. 64, p. 103–113, 2014.

ANGULO, S. C.; CARRIJO, P. M.; FIGUEIREDO, A. D.; CHAVES, A. P.; JOHN, V. M. *On the classification of mixed construction and demolition waste aggregate by porosity and its impact on the mechanical performance of concrete*. **Journal of Materials and Structures**, v. 43, p. 519-528, 2010.

ARAÚJO, D. de L.; FELIX, L. P.; SILVA, L. C e.; SANTOS, T. M. dos. Influência de Agregados Reciclados de Resíduos de Construção nas Propriedades Mecânicas do Concreto. **Revista Eletronica de Engenharia Civil**, V. 11 Nº 1, p. 16-34, 2015.

AREZOUMANDI, M.; DRURY, J.; VOLZ, J. S.; KHAYAT, K. H.. Effect of Recycled Concrete Aggregate Replacement Level on Shear Strength of Reinforced Concrete Beams. **ACI Materials Journal**, V. 112, No. 4, p. 559-567, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 7809**: Agregado graúdo: Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro: Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 12653**: materiais pozolânicos – requisitos. Rio de Janeiro, 2014.

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

_____. **NBR 15112**: Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem. Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 15113:** Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros - Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 15114:** Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 15115:** Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2004.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO. **Relatório – Pesquisa setorial 2014/2015.** Universidade Federal do Paraná. São Paulo. 2015.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE ENTIDADES DE PRODUTORES DE AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO. **Panorama e perspectivas para o setor de agregados para construção.** O mercado de agregados no Brasil. São Paulo, nov. 2015.

ASTM C 117, *Standard Test Method for Materials Finer than 75- μ m (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing.* ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, 4 p.

ASTM C 136, *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Course Aggregates.*

ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014, 5 p.

ASTM C 295, *Standard Guide for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete.* ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012, 9 p.

ASTM C 39, *Standard Test Method for compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.* ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, 8 p.

ASTM C 78, *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)*. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, 4 p.

ASTM D 3398, *Standard Test Method for Index of Aggregate Particle Shape and Texture*. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014, 4 p.

BAZUCO, R. S. *Utilização de agregados reciclados de concreto para a produção de novos concretos*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999, 112p.

BRASIL. Lei Federal no 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Diário Oficial da União, Brasília, 3 ago. 2010. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>>. Acesso em: 10 jan. 2019.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa Brasil**. Brasília, DF: 2. ed., 2017.

BRAVO, M. et al. Durability performance of concrete with recycled aggregates from construction and demolition waste plants, **Journal of Construction and Building Materials**, v. 77, p. 357-369, 2015.

BRAVO, M. et al. Mechanical performance of concrete made with aggregates from construction and demolition waste recycling plants. **Journal of Cleaner Production**, v. 99, p. 59–74, 2015.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Banco de Dados**. Informações econômicas. Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br/home/>>. Acesso em: 20 de janeiro. 2019.

CARTUXO, F. et al. Increased durability of concrete made with fine recycled concrete aggregates using superplasticizers. **Journal of Materials**, v. 9, 2016.

CASTELLOTE, M.; FERNANDEZ, L.; ANDRADE, C.; ALONSO, C. Chemical Changes and Phase Analysis of OPC Pastes Carbonated at Different CO₂ Concentrations. **Materials and Structures**, v. 42, n. 4, (2009), p. 515-525.

CASTELOTTE, Marta et al. Composition and microstructural changes of cement pastes upon heating, as studied by neutron diffraction. **Science Direct**, p. 1633 - 1644. 2004.

Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC). **Banco de dados**. 2016. Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br/menu/materiais-de-construcao/cimento>>. Acesso em: 22 set. 2018.

COELHO, A.; BRITO, J. de. 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, Jan. 2013.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 307**: Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, 2002.

ETXEBERRIA, M; VEGAS, I. Effect of fine ceramic recycled aggregate (RA) and mixed fine RA on hardened properties of concrete. **Concrete Research**. v. 64, n. 12, p. 1 – 11, 2014.

EVANGELISTA, L; DE BRITO, J. Durability performance of concrete made with fine recycled concrete aggregates, **Journal of Cement and Concrete Composites**, v. 32, p. 9-14, 2010.

EVANGELISTA, L; DE BRITO, J. Durability performance of concrete made with fine recycled concrete aggregates, **Journal of Cement and Concrete Composites**, v. 32, p. 9-14, 2010.

FROTTÉ, C. et al. Estudo das propriedades físicas e mecânicas de concreto com substituição parcial de agregado natural por agregado reciclado proveniente de RCD. **Revista Matéria**, v. 22, n. 2, 2017.

GÓMEZ, A. M. J. **Comportamento Mecânico de um Agregado Reciclado a Partir de Resíduos de Construção e Demolição Submetido a Carregamentos Cíclicos**, Distrito Federal, Tese de Doutorado - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. 2016, 185 p.

GONZÁLEZ-FONTEBOA, B.; MARTÍNEZ-ABELLA, F.; CARRO, L. D.; SEARA-PAZ, S. Stress–strain relationship in axial compression for concrete using recycled saturated coarse aggregate. *Construction and Building Materials*, v. 25, (2011), 2335-2342.

GUILGUE, Mário Sérgio. **Desenvolvimento de ligante hidráulico a partir de resíduos de Cimento Hidratado, Tijolo Cerâmico e Metacaulinita**. 221 f. Dissertação (Mestrado em Habitação) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo & IPT, São Paulo, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa anual da indústria da construção**. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Rio de Janeiro, v.20, p.1-96, 2010.

KOPER, A; KOPER, W; KOPER, M. Influence of Raw Concrete Material Quality on Selected Properties of Recycled Concrete Aggregates. *Procedia Engineering*, v. 172, p. 536–543, 2017.

LACERDA, E. *Contribuição ao estudo do efeito do uso de aditivos incorporadores de ar no avanço da frente de carbonatação em compósitos de matriz cimentícia*. Dissertação (Pós-graduação em Construção Civil) Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016, 140 p.

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

LEVY, S. M. *Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e alvenaria*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001, 194 p.

MEDINA, C. *et al.* Durability of recycled concrete made with recycled ceramic sanitary ware aggregate. Inter-indicator relationships. *Construction and Building Materials*. v. 105, p. 480–486, 2015.

MEDINA, C.; SÁNCHEZ DE ROJAS, M. I.; FRÍAS, M. Reuse of sanitary ceramic wastes as coarse aggregate in eco-efficient concretes, **Cement and Concrete Composites**. v. 34, n. 1, p. 48–54, 2012.

MENEZES, Raquel Maria Rocha Oliveira. **Desenvolvimento de Aglomerantes Hidráulico por Tratamento Termomecânico de Produtos da Hidratação de Pasta de Cimento Portland e da Ativação de Agregados Miúdo Silicoso**. 149 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte 2018.

NEGALLI, A. **Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil**. São Paulo: Oficina de Textos. 2014.

NEVILLE, A. M. *Propriedades do Concreto*, Tradução GIAMMUSSO, S. E. 2ª edição. Pini, 1997, 828 p.

PACHECO, J.; BRITO, J.; FERREIRA, J.; SOARES, D.. Destructive Horizontal Load Tests of Full-Scale Recycled-Aggregate Concrete Structures. **ACI Structural Journal**, V. 112, Nº. 6, p. 815-826, 2015.

PEDRO, D; DE BRITO, J; EVANGELISTA L. Influence of the use of recycled aggregates from different sources on structural concrete. *Construction and Building Materials*, v. 71, (2014), 141-151.

PEREIRA, Catarina Isabel Sá. **Resíduos de Construção e Demolição como Substituto Parcial do Cimento**. 155 f. Dissertação (Mestrado em Materiais e Processos de Construção) – Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Portugal 2015.

PEREIRA, P.; EVANGELISTA, L.; DE BRITO, J. The effect of superplasticisers on the workability and compressive strength of concrete made with fine concrete aggregates. **Journal of Construction and Building Materials**, v.28, p. 722-729, 2012.

PINTO, T. P. **Metodologia para a Gestão Diferenciada de Resíduos Sólidos da Construção Urbana**. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

PIVETTA, C. P. **Utilização de resíduo de construção e demolição em solo compactado**. Trabalho de conclusão de curso: Engenharia Ambiental e Sanitária. Universidade Federal da Fronteira Sul, Cerro Largo, RS, 2017.

RAHAL, K. N.; AL-KHALEEFI, A. L.. Shear-Friction Behavior of Recycled and Natural Aggregate Concrete An Experimental Investigation. **ACI Structural Journal**, V. 112, No. 6, p. 725-733, 2015.

ROCHA, Telma Sabina Vieira. Resíduos de Construção e Demolição como Substituto Parcial do Cimento – **Efeito da Durabilidade em Materiais Cimentícios**. 189 f. Dissertação (Mestrado em Materiais e Processos de Construção) – Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Portugal 2016.

RODRIGUES, Fernando et al. Physicochemical and mineralogical characterization of fine aggregates from construction and demolition waste recycling plants. **Journal of Cleaner**, Portugal, v. 52, p. 438-445, fev. 2013.

SILVA, J; DE BRITO, J; VEIGA, R. Incorporation of fine ceramics in mortars, **Construction and Building Materials**, v. 23, n. 1, p. 556–564, 2010.

SILVA, Marcia Marina Fonseca da Silva. **Aproveitamento de Materiais Resultantes de uma Demolição Seletiva**. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Portugal 2010.

SILVA, R. V.; BRITO, J. D.; DHIR, R. K. Availability and processing of recycled aggregates within the construction and demolition supply chain: **Journal of Cleaner Production**, 2017.

SILVA, R. V.; BRITO, J.; DHIR, R. K. Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste suitable for concrete production. **Journal of Construction and Building Materials**, v. 65, p. 201–217, 2014.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO (SNIC). **Números da Indústria**. 2017. Disponível em: <<http://snic.org.br/numeros-industria.php>>. Acesso em: 02 out. 2018.

SOUZA, C. A. DE. Utilização de Resíduo de Concreto como Agregado Miúdo para Argamassa de Concretos Estruturais Convencionais. 2006.

WADA, P. H. **Estudo da incorporação de resíduo de cerâmica vermelha na composição de concreto para uso em estacas moldadas in loco.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2010. 108 f.

WIRTSH, G. I.; OLIVEIRA, B. C. A política nacional de resíduos sólidos e os modelos de gestão. In: _____. **Catadores de materiais recicláveis: um encontro nacional.** Rio de Janeiro : Ipea, 2016. 562 p.

YAP, S. P., et al. Characterization of pervious concrete with blended natural aggregate and recycled concrete aggregates. **Journal of Cleaner Production,** Malaysia, p. 155-165, 2018.

YEHEYIS, M. *et al.* 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.