



INCORPORAÇÃO DE AGREGADO RECICLADO DE CONCRETO EM ARGAMASSAS E CONCRETOS: DESAFIOS E OPORTUNIDADES

Paôla Valentini¹ (paolavalentinieng@gmail.com) Tatiane Isabel Hentges¹ (tatiisabel@yahoo.com.br), Marlova Piva Kulakowski¹ (marlovak@unisinis.br), Claudio Kazmierczak¹ (claudiok@unisinis.br)

1 UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

RESUMO

O consumo de matérias-primas pelo setor da construção civil vem crescendo de forma exponencial e, junto disso, ocorre o aumento da geração de resíduos, seja na forma de perdas durante a execução de novos produtos no processo industrial, ou na forma de destinação final de empreendimentos que não se apresentam mais atrativos para conservação. Assim, o estudo da reciclagem de resíduos é algo imprescindível quando se fala em preservação do meio ambiente. O agregado reciclado de concreto é um produto da reciclagem de resíduo que pode ser gerado em fábricas de pré-moldados, em concreteiras, em obras e em demolições, e apresenta um grande potencial de aplicação em concretos e argamassas como agregado graúdo e miúdo. Desta forma, esse trabalho busca apresentar os estudos que vêm sendo realizados nacional e internacionalmente e os resultados encontrados até o momento e, a partir disso, mostrar desafios e oportunidades para a efetiva incorporação do agregado reciclado de concreto no mercado.

Palavras-chave: agregado reciclado de concreto, concreto, argamassa.

AGGREGATE INCORPORATION OF RECYCLED CONCRETE IN MORTAR AND CONCRETE: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES

ABSTRACT

The consumption of raw materials by the construction sector is growing exponentially and with this comes the increased of waste generation, whether in the form of losses during the new products implementation in the industrial process, whether in the form of disposal of enterprises that do not shows more attractive for conservation. Thus, the study of waste reuse is something essential when it comes to preserving the environment. The recycled concrete aggregate is a product of waste recycling that can be generated in precast factories, in concrete producers, in construction and demolition, and has great potential for application in concrete and mortar as coarse and fine aggregate. Thus, this study aims to present the studies that have been conducted nationally and internationally and the results to date and, from that, show challenges and opportunities for the effective incorporation of recycled aggregate concrete in the market.

Keywords: recycled concrete aggregate, concrete, mortar.

1. INTRODUÇÃO

O consumo em grande escala dos recursos naturais na área da construção civil teve um crescimento extraordinário nos últimos anos, não apenas em razão do crescimento significativo da população, mas também pelo nível de exigência e desempenho requeridos pela sociedade (ISAIA, 2007) e pelas novas normas técnicas inseridas ao setor (como exemplo, a Norma de Desempenho das Edificações Habitacionais – NBR 15575/2013).



Devido a isso, a natureza não está conseguindo repor seus recursos da mesma forma com que ele é consumido, sendo que a indústria do concreto é a maior consumidora de recursos naturais (água, areia e agregado graúdo) e tendo em vista que são recursos não renováveis, (ISAIA, 2007).

A extração, produção, montagem, manutenção e descarte dos materiais destinados para a construção civil geram uma quantidade considerável de resíduos e poluição ambiental. Como exemplo se tem o estudo realizado por Loturco (2004), através de dados obtidos sobre a produção diária de resíduos urbanos na cidade de São Paulo onde mostrou que os descartes da construção civil correspondiam a um pouco mais que o dobro da produção de resíduo doméstico.

Assim, um dos desafios da construção civil atual está na conscientização para a construção de mais edificações utilizando menos materiais, realizando maior detalhamento dos projetos, substituindo materiais tradicionalmente utilizados por outros com melhor eficiência de relação energia/massa, aumentando a durabilidade dos materiais através da adoção daqueles que apresentem maior vida útil e desempenho no sistema a qual está inserido (ou como todo) e também realizando a limitação da geração de resíduos e reutilização através da reciclagem (JOHN, 2007; ISAIA, 2007).

Segundo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2008), apenas 1,42% dos municípios brasileiros possuem algum tipo de reaproveitamento ou reciclagem dos resíduos de construção produzidos, que podem ser gerados desde a produção e fornecimento de materiais de construção até a produção de componentes e sistemas construtivos, bem como na construção de edificações e obras de infraestrutura.

A utilização de agregados reciclados é profundamente atrativa quando comparada à utilização de recursos naturais não-renováveis, uma vez que esta é capaz de promover o desenvolvimento de uma nova matéria-prima, além de preservar os recursos naturais e evitar o descarte em aterros (MÁLIA; BRITO; BRAVO, 2011).

Desse modo, a reciclagem demonstra ser um mecanismo possível na construção civil, manifestando diversas vantagens quanto ao consumo de matéria-prima e descarte de resíduos, colaborando para a preservação dos recursos naturais e proteção do meio ambiente (MÁLIA; BRITO; BRAVO, 2011), fazendo com que a utilização do agregado reciclado de concreto (ARC) venha sendo muito estudada nos últimos anos (WERLE et al., 2011; FRÖHLICH; HENTGES; KULAKOWSKI, 2014; LIMBACHIYA; MEDDASH; OUCHAGOUR, 2012).

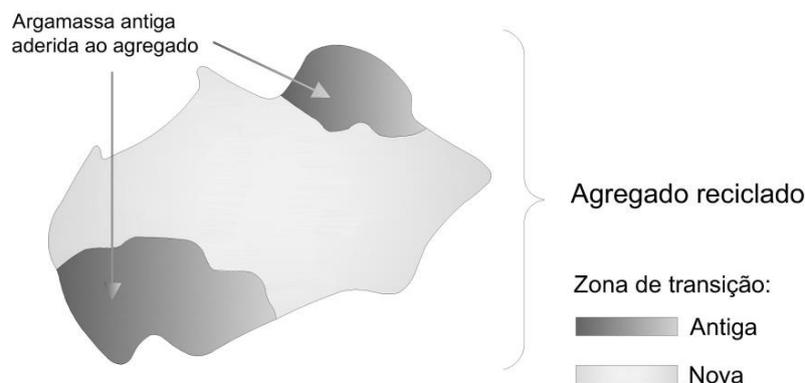
Contudo, a qualidade de concretos e argamassas que incorporam ARC é questionada devido à alta porosidade do novo agregado que os fazem absorver boa parte da água de amassamento, resultando em maior demanda de água na mistura para o alcance da trabalhabilidade, alterando a relação água/cimento e possuindo massa específica inferior (WERLE et al., 2011; BUTTLER, 2003).

Contribuindo para este estudo, temos a zona de transição (ZT), que representa o local de contato entre o agregado e a pasta, sendo a região mais frágil das argamassas e concretos. Essa zona de transição não é específica apenas em superfícies dos agregados, mas também está presente em outras interfaces de compósitos à base de materiais cimentícios, como exemplo se tem o local da interface aço-pasta de cimento e argamassa-substrato (SILVA, 2004).

De acordo Mehta e Monteiro (2014), através do refinamento dos cristais e poros existentes na pasta de cimento acontece o aumento das resistências mecânicas, uma vez que também aumenta a resistência da matriz na zona de transição. Quando não há esse refinamento, ocorre o enfraquecimento da zona de transição, como ocorre muitas vezes em concretos e argamassas com a utilização de ARC. Esse enfraquecimento pode acontecer de duas maneiras: entre o agregado natural e a argamassa antiga (presente no próprio ARC), onde esta é chamada de zona de transição antiga; e entre a argamassa antiga e argamassa nova, chamada de zona de transição nova (TAM, GAO e TAM, 2005).



Figura 1. Zona de transição do agregado reciclado.



Fonte: Adaptado de Tam, Gao e Tam (2005).

A presença de pozolanas e escórias e a redução da relação água/cimento são fatores que podem diminuir os poros da zona de transição entre o ARC e nova pasta de concreto, fortalecendo-a (FEDUMENTI, 2013). Além disso, o agregado reciclado pode ser incorporado de diversas formas na mistura, e cada uma dessas variações também pode resultar no reforço ou enfraquecimento da zona de transição entre a pasta de cimento nova e o agregado reciclado de concreto. Alguns dos fatores existente no ARC que podem influenciar na ZT são: a camada de argamassa aderida ao agregado natural, a execução ou não da pré-molhagem, a existência de carbonatação, a forma como este foi moído, a resistência e qualidade do concreto de onde o agregado foi extraído (WILBERT, 2015; TROIAN ET AL., 2010; FRÖHLICH; HENTGES; KULAKOWSKI, 2014; BONIFAZI et al., 2015).

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi estudar a importância e o potencial da reutilização do agregado reciclado de concreto, analisando desde os resultados que estes acarretam em testes no concreto e na argamassa até a análise da microestrutura entre este e a nova matriz cimentícia, apresentando as oportunidades e desafios que ainda existem quanto aos resultados da incorporação desse em argamassas e concretos.

3. METODOLOGIA

Para a elaboração deste artigo foi realizada uma revisão bibliográfica sobre o agregado reciclado de concreto, buscando-se dados desde a quantidade de descarte e reutilização desse resíduo até as pesquisas nacionais e internacionais que estudaram sua utilização em novos traços de argamassa e concreto.

Foram abordadas, neste trabalho, muitos trabalhos feitos pelos grupos de pesquisa da própria Unisinos e complementado com algumas referências de reconhecimento pela Capes e órgãos internacionais, como o *Science Direct*, *American Society of Civil Engineers* e *Springer*. Nestes, buscou-se por palavras-chave como “recycled concrete aggregate” e “interfacial transition zone”.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados estudos que abordaram o agregado reciclado de concreto como agregado miúdo e graúdo, trazendo os resultados encontrados pelos pesquisadores.



4.1 Estudos de incorporação de ARC em concretos e argamassas

A sociedade científica vem demonstrando grande interesse pela reutilização de resíduos gerados pelo setor da construção civil. Isso se constata com as inúmeras pesquisas publicadas, com os congressos que ocorrem (ENARC, SIBRAGEC, Euro-ELECS) e com a criação, no ano de 2011, da ABRECON – Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (ABRECON, 2015; ANTAC, 2015).

Apesar do Brasil se destacar entre os demais países da América Latina e ter elaborado normas referentes à utilização de agregados reciclados, como exemplos as NBR 15.112, 15.113, 15.114, 15.115 e 15.116 (ABNT, 2004), estas não abrangem a substituição de agregados naturais por reciclados para a realização de concretos estruturais (LEVY, 2007).

Pesquisas realizadas indicam que o ARC possui menor resistência devido a existência de uma película de argamassa aderida ao agregado natural, sendo recomendável que ARC com um porcentagem elevada de argamassa aderida (principalmente oriundas de concretos de baixa resistência) sejam evitados pois, as propriedades do ARC estão fundamentalmente ligadas às propriedades do concreto original do ARC. (NIXON, 1978; LEVY, 2001; BUTTLER, 2007; PADMINI, RAMAMURTHY e MATHEWS, 2009; TABSH e ABDELFAHAH, 2009; KOU e POON, 2015).

4.1.1 Concretos e argamassas com ARC e pozolanas

Dentre as condições para a melhoria das propriedades do ARC e, portanto, do concreto ou argamassa produzido com sua utilização, está o uso de adições minerais, tendo intuito de oferecer o preenchimento dos poros, realizar o crescimento da ligação entre as partículas e, conseqüentemente, promover beneficiamento quanto ao desempenho dos concretos e argamassas produzidos (TAM e TAM, 2008; KONG et al., 2010; YOUNIS e PILAKOUTAS, 2013; ZHAO et al., 2013).

Zaetang et al., (2016) pesquisaram a utilização de resíduos de blocos de concreto e de estruturas de concreto como substituição do de 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, e 100% do agregado natural em novos traços de concreto. Com isso, estudaram a resistência à compressão, a resistência à abrasão, a condutividade térmica e a densidade, a porosidade e a permeabilidade de água. Os resultados encontrados pelos pesquisadores demonstram que, para o resíduo de blocos de concreto, o teor ideal de substituição de agregado natural (NA) por agregado de bloco de concreto (RBA) é de 20% e, quando a substituição ocorre pelo agregado reciclado de concreto (RCA), o teor ideal fica entre 40% e 60%. Segundo os autores, esses teores melhoram os resultados de resistência à compressão e à abrasão superficial, e os demais testes tiveram melhorias em todos os teores de substituição, com exceção da densidade, que diminuiu com esta substituição devido à maior porosidade dos resíduos em relação ao agregado natural.

Fedumenti (2013), Sartori (2013) e Cecconello (2013) estudaram concretos com substituição de agregado grão natural (AGN) por agregado grão reciclado de concreto (AGRC) em diferentes relações a/agl tendo como adição a cinza de casca de arroz (CCA) em substituição parcial do cimento. Os autores analisaram a resistência à compressão, absorção de água por capilaridade e deram ênfase em, respectivamente, o transporte de íons cloreto, a carbonatação e a retração. O cimento foi substituído por CCA nos teores de 0, 10 e 20% e o AGN foi substituído por AGRC nos teores de 0, 25 e 50% onde, nas moldagens era executada pré-molhagem de 10 minutos com teor de água calculado devido à porosidade do resíduo.

Os três pesquisadores encontraram resultados promissores, apesar disso, é importante dar atenção à variabilidade, pois a presença de 25% de AGRC em substituição ao agregado grão natural apresentou resultados inferiores em todos os ensaios, porém quando esse teor passava a ser de 50% e havia a substituição de 20% do cimento por CCA, os resultados demonstraram melhorias significativas, com valores mais vantajosos que os traços de referência. Excluem-se



nesses dados os resultados de carbonatação apresentados por Sartori (2013) onde a CCA, que se mostrou benéfica para todos os demais testes, tendo efeito contrário neste, sendo que o autor atribuiu a isto o efeito de diminuição dos poros que a CCA causa na matriz cimentícia, facilitando e diminuindo o caminho que a carbonatação faz ao adentrar o concreto.

Wilbert (2015) realizou a análise da influência de duas adições (finos basálticos e cinza da casca de arroz) em argamassas de concreto, com ênfase na microestrutura das argamassas, englobando a zona e transição que ocorre em concretos com a utilização de ARC. Concluiu-se, neste trabalho, através da técnica da nanoindentação, a existência de uma zona de transição de melhor qualidade, com maiores quantidades de compostos de hidratação e menor porosidade na adição de finos basálticos e cinza da casca de arroz em concretos com ARC. Essa também é a afirmação feita por Zaetang et al., (2016), que concluem haver uma melhoria na ligação entre a pasta de cimento e o agregado reciclado, mesmo não havendo em seu estudo algum tipo de pozolana ou escória.

Já em relação à utilização de agregados reciclados na utilização em argamassas, Heineck (2012) estudou argamassas produzidas com substituição do agregado miúdo por agregado miúdo reciclado de concreto (AMRC) produzido por uma empresa de pré-fabricados, portanto de origem controlada, com o objetivo de analisar a influência da forma do grão do AMRC nas propriedades de argamassas de revestimento no estado fresco e endurecido bem como a influência dos materiais que constituem as partículas do ARC nas propriedades da argamassa de revestimento. Foi possível observar que a utilização de ARC nas argamassas altera as propriedades destas, pois obteve argamassas com diferentes resistências mecânicas e diferentes módulos de elasticidade dinâmicos. A autora ainda relata que ocorreu interferência da forma dos grãos e da porosidade nos resultados e indicou que a distribuição granulométrica e a forma dos grãos influenciam fortemente na capacidade de absorção de água por capilaridade e, conseqüentemente, no comportamento das argamassas.

4.1.2 Ensaios de análise microestrutural

Para entender o que acontece com o ARC quando incorporado à nova matriz cimentícia, se faz necessário a utilização de ensaios microestruturais, onde iremos realizar um breve resumo, nesta pesquisa, sobre os ensaios mais recorrentes.

Dentre as técnicas existentes, as que se destacam para análise microestrutural são a nanoindentação, a microscopia eletrônica de varredura e microtomografia computadorizada de raios X.

- A nanoindentação consiste na aplicação de carga através de uma agulha, chamada de indentador, no material que se quer ensaiar. Em escala nano, este indentador, que possui dimensões conhecidas, é pressionado no material até que se alcance uma carga ou uma profundidade previamente definidas. O material acaba por se deformar durante o processo e, assim, reflete suas propriedades mecânicas (ASKELAND; PHULÉ, 2014).
- Já na microscopia eletrônica de varredura, segundo Silva (2011), a superfície da amostra, ao ser alcançada por um feixe de elétrons, origina diferentes sinais detectados independentemente, sendo um os elétrons secundários e outro os elétrons retroespalhados. Com isso, é possível detectar a morfologia dos compostos hidratados em função das condições de hidratação. É possível visualizar, em imagens obtidas, morfologia, textura, heterogeneidade, microfissuras e zona de transição.
- Na microtomografia computadorizada de raios X, um feixe de raios X incide sobre uma amostra e, posteriormente, são coletados os valores de radiação absorvidos pelo material, que variam em função do coeficiente de absorção dessa. Assim, geram-se imagens bidimensionais pelas variações de absorção em um corte transversal do objeto. A partir



dessas imagens, o computador processa um algoritmo que as reconstrói e gera uma imagem tridimensional (ALMEIDA et al., 2014).

Um dos desafios encontrados na utilização desses ensaios está na sua realização devido à complexidade e dificuldade de acesso aos equipamentos. Um exemplo disso está na técnica da nanoindentação em materiais cimentícios que, em razão da heterogeneidade destes, se faz necessária a realização de inúmeras amostras e uma complexa análise estatística para a validação dos resultados encontrados já que a técnica foi desenvolvida para a utilização em materiais homogêneos (ULM et al., 2010).

5. CONCLUSÃO

Sabe-se que estudar resíduos sempre será um desafio pois todo o ciclo de vida que este material teve antes de virar resíduo varia muito entre lotes e influencia significativamente suas propriedades, e, conseqüentemente, o produto final onde foi incorporado.

Para entender essa variabilidade que o resíduo vem trazendo às novas argamassas e aos concretos, surge a necessidade e a importância de se pesquisar e estudar mais a fundo, analisando a microestrutura da zona de transição entre o agregado reciclado de concreto e a nova matriz cimentícia através das técnicas mencionadas no capítulo anterior ou até mesmo a partir da criação de novos métodos, surgindo aí uma nova oportunidade.

AGRADECIMENTOS

Ao órgão de fomento à pesquisa, CAPES, pela concessão da bolsa de estudos e pelo financiamento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, H. C; DOMINGUEZ, D. S; LOPES, R. T; ALVES, H. D. L. Processamento de imagens microtomográficas de alta resolução aplicado à caracterização de amostras de concreto leve. In: XVII Encontro de Modelagem Computacional e V Encontro de Ciência e Tecnologia de Materiais. 2014, Petrópolis.

ASKELAND, D. R.; PHULÉ, P. P. Ciência e engenharia dos materiais. Tradução de Solange Aparecida Visconti. Revisão técnica de Daniel Rodrigo Leiva. 3.ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

BLANDO, E. Estudo, desenvolvimento e caracterização de revestimentos do tipo super-rede de dureza. 2005. 137 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre, 2005.

BONIFAZI, G; CAPOBIANCO, G; SERRANTI, S.; EGGIMANN M; WAGNER, E; MAIO, DI, F; LOTFID, S. The ITZ in concrete with natural and recycled aggregates: Study of microstructures based on image and SEM analysis. In: 15th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials. 2015, Delft, The Netherlands.

BUTTLER, A.M. Concreto com Agregado Graúdo Reciclado de Concreto – Influencia da Idade de Reciclagem nas Propriedades dos Agregados e Concretos Reciclados. São Carlos, 2003. 199p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

BUTTLER, A. M. Uso de agregados reciclados de concreto em blocos de alvenaria estrutural. 2007. 499 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) -- Escola de Engenharia de São



Carlos, Departamento de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo - USP, São Carlos, SP, 2007.

CECCONELLO, V. Avaliação de concretos produzidos com agregados graúdos reciclados de concreto e cinza de casca de arroz, com ênfase na retração. 2013. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, 2013.

FEDUMENTI, M. Avaliação da influência da cinza de casca de arroz no comportamento de concretos com agregado reciclado de concreto em relação a propriedades mecânicas e de durabilidade, com ênfase no transporte de íons cloreto. Tese de dissertação de Mestrado, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2013.

FRÖHLICH, J.; HENTGES, T. I.; KULAKOWSKI, M. P. Emprego de Agregados Reciclados de Concreto Carbonatados na Produção de Novos Concretos. Revista de Engenharia Civil IMED, v. 1, n. 2, p. 3-9, 2014.

GAO, J. M.; QIAN, C. X.; LIU, H. F.; WANG, B.; LI, L. ITZ microstructure of concrete containing GGBS. Cement and Concrete Research. v. 35, p. 1299–1304, 2005.

GLEIZE, P. J. P. Nanotecnologia e Materiais de Construção Civil. In: ISAIA, G. C. (Org.). Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. 1ª ed. São Paulo: IBRACON, 2007, v. 2, cap. 50, p. 1659-1686.

HEINECK, S. Desempenho de argamassas de revestimento com a incorporação de agregafos reciclados de concreto. 132 f. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, 2012.

IBGE, 2008. Tabela 99 - Municípios, total e com serviço de manejo de resíduos de construção e demolição, por existência e tipo de processamento dos resíduos, segundo as Grandes Regiões e as Unidades da Federação – 2008. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/tabelas_pdf/tab099.pdf. Acessado em 06/04/2016.

ISAIA, G. C. A Ciência e a Engenharia de Materiais de Construção Civil. In: ISAIA, G. C. (Org.). Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. 1ª ed. São Paulo: IBRACON, 2007, v. 1, cap. 1, p. 1-36.

JOHN, V. M. Materiais de Construção e o Meio Ambiente. In: ISAIA, G. C. (Org.). Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. 1ª ed. São Paulo: IBRACON, 2007, v. 1, cap. 4, p. 95-118.

KONG, D. et al. Effect and mechanism of surface-coating pozzalantics materials around aggregate on properties and ITZ microstructure of recycled aggregate concrete. Construction and Building Materials, v. 24, n. 5, p. 701–708, 2010.

KOU, S.; POON, C. Effect of the quality of parent concrete on the properties of high performance recycled aggregate concrete. Construction and Building Materials, v. 77, p. 501-508, 2015.



LEVY, S. M. Materiais Reciclados na Construção Civil. In: ISAIA, G. C. (Org.). Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. 1ª ed. São Paulo: IBRACON, 2007, v. 2, cap. 49, p. 1629-1658.

LEVY, S. M. Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos produzidos com resíduos de concreto e alvenaria. 2001. 194 f. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - EPUSP, São Paulo, 2001.
LIMBACHIYA, M.; MEDDASH, M. S.; OUCHAGOUR, Y. Use of recycled concrete aggregate in fly-ash concrete. *Construction and Building Materials*, v. 27, p. 439-449, 2012.

LOTURCO, B. A Nova Lei do Lixo. *Téchne*, n. 82, p. 52-55. Jan, 2004.

MÁLIA, M.; BRITO, J.; BRAVO, M. Indicadores de resíduos de construção e demolição para construções residenciais novas. *Ambiente Construído*, v. 11, n. 3, p. 117–130, 2011.

MIRANDA, L. F. R. Estudo de fatores que influem na fissuração de revestimentos de argamassa com entulho reciclado. São Paulo: USP, 2000. 172p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Poli Construção Civil (PCC), 2000.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais. 2ª ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. Propriedades do concreto. 2ª ed. São Paulo: Pini, 2013.

NIXON, P. J. Recycled concrete as an aggregate for concrete—a review. *Matériaux et Constructions*, v. 11, n. 5, p. 371–378, 1978.

PADMINI, A. K.; RAMAMURTHY, K.; MATHEWS, M. S. Influence of parent concrete on the properties of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, v. 23, n. 2, p. 829–836, 2009.

SARTORI, B. R. C. Estudo da carbonatação em concretos com agregado graúdo reciclado de concreto e cinza de casca de arroz. 2013. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, 2013.

SILVA, V. S. Aderência de chapiscos em concretos estruturais – Melhoria da microestrutura da zona de interface pela adição da sílica da casca de arroz. 2004. 247f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais). Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, SP, 2004.

SILVA, C. R. Avaliação de diferentes tratamentos de base aplicados sobre alvenaria de bloco cerâmico na aderência da argamassa: estudo de caso. 2011. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará (UFP), Belém, 2011.

SOUZA, V. C. G. Influência das características mineralógicas, físicas e químicas dos clínqueres de cimento Portland sobre sua moabilidade. 2007. 396 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFGRS, Porto Alegre, 2007.



TABSH, S. W.; ABDELFAH, A. S. Influence of recycled concrete aggregates on strength properties of concrete. *Construction and Building Materials*, v. 23, n. 2, p. 1163–1167, 2009.

TAM, V. W. Y.; GAO, X. F.; TAM, C. M. Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach. *Cement and Concrete Research*, v. 35, n. 6, p. 1195–1203, 2005.

TAM, V. W. Y.; TAM, C. M. Diversifying two-stage mixing approach (TSMA) for recycled aggregate concrete: TSMA and TSMA^{asc}. *Construction and Building Materials*, v. 22, n. 10, p. 2068–2077, 2008.

TROIAN A; WERLE, A. P; KULAKOWSKI, M. P; KAZMIERCZACK, C. S.. Resistência à penetração de íons cloreto em concretos com agregados reciclados de concretos. In: XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 2010, Canela.

ULM, F. J., et al. Does microstructure matter for statistical nanoindentation techniques. *Cement & Concrete Composites*, v. 32, p. 92-99, 2010.

WERLE, A.P., TROIAN, A., KAZMIERCZAK, C.S., KULAKOWSKI, M.P. Carbonation in concrete with coarse recycled concrete aggregates. In: Conference Proceedings of 12th International Conference on DBMC, 4., 2011, Porto. Proceedings... Porto: FEUP Edições, 2011, p. 1677-1684.

WILBERT, D. G. B. Análise da interface entre argamassas de concreto com adição de fino basáltico e cinza da casca de arroz por meio de nanoindentação. 2015. 158 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Unisinos, São Leopoldo. 2015.

YOUNIS, K. H.; PILAKOUTAS, K. Strength prediction model and methods for improving recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, v. 49, p. 688–701, 2013.

ZAETANG Y., SATA V., WONGSA A., CHINDAPRASIRT P. Properties of pervious concrete containing recycled concrete block aggregate and recycled concrete aggregate. *Construction and Building Materials*, v. 111, p. 15-21, 2016.

ZHAO, Z. et al. Evaluation of pre-coated recycled aggregate for concrete and mortar. *Construction and Building Materials*, v. 43, p. 191–196, 2013.

ZHU, W., et al. Nanoindentation mapping of mechanical properties of cement paste and natural rocks. *Materials Characterization*, v. 58, p. 1189-1198, 2007.