



TRATAMENTO DE AGREGADO GRAÚDO RECICLADO DE CONCRETO: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Vanessa Oerle Kautzmann⁽¹⁾; *Monique Palavro Lunardi*⁽²⁾; *Regina Celia Espinosa Modolo*⁽³⁾; *Cláudio de Souza Kazmierczak*⁽⁴⁾; *Marlova Piva Kulakowski*⁽⁵⁾

(1) Universidade do Vale do Rio Sinos – voerlek@unisinis.br; (2) Universidade do Vale do Rio Sinos – monique.lunardi@hotmail.com; (3) Universidade do Vale do Rio Sinos – reginaem@unisinis.br (4) Universidade do Vale do Rio Sinos – claudiok@unisinis.br (5) Universidade do Vale do Rio Sinos – marlovak@unisinis.br

RESUMO

A utilização de agregados reciclados de concreto (ARC) vem se mostrando cada vez mais necessária, com vistas a diminuir os resíduos de demolições e para diminuir a extração de matéria-prima para fabricação do concreto. Esse agregado, porém, possui menor qualidade quando comparado com os agregados naturais, isso porque existe uma camada de argamassa antiga aderida e a formação de mais uma zona de transição no concreto. Essa argamassa absorve maior quantidade de água que o agregado natural devido a sua porosidade e possui menor resistência, deixando o novo concreto mais susceptível à entrada de agentes agressivos e menos resistente. Assim, este estudo objetiva uma revisão dos métodos existentes para melhoria do agregado reciclado de concreto, citando suas vantagens e desvantagens. Os principais métodos são os que removem e os que promovem melhoramento da argamassa residual. Foi visto que os que promovem melhorias no ARC causam menos impactos ambientais comparados aos que retiram a argamassa residual, pois estes, além de consumirem maior quantidade de energia ainda precisam de descarte do resíduo gerado.

Palavras-chave: agregado reciclado de concreto, argamassa residual, tratamento de superfície.

TREATMENT OF RECYCLED CONCRETE AGGREGATE: A REVIEW

ABSTRACT

Use of recycled concrete aggregates (RCA) has been shown to be increasingly necessary to reduce demolition waste and to reduce the extraction of raw material for concrete. However, this aggregate has lower quality when compared to natural aggregates, because there is an old adhered mortar and the formation of another interfacial transition zone (ITZ) in the concrete. This mortar absorbs more water than the natural aggregate, due to its porosity and has less resistance, leaving the new concrete more susceptible to the ingress of aggressive agents and reduced strength. Thus, this study aims to review the existing methods for improving the recycled concrete aggregate, citing its advantages and disadvantages. Most common methods are those that remove and those that promote improvement of the residual mortar. It has been seen that those who promote RCA improvements cause less environmental impacts compared to those that take away the residual mortar, besides consuming more energy, still need to discard the waste generated.

Key-words: recycled concrete aggregates, adhered mortar, enhancement treatment.

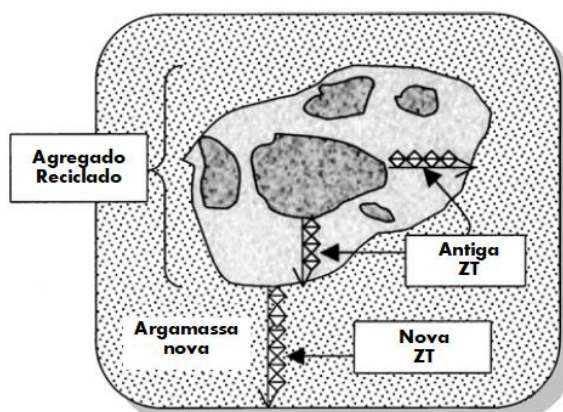


1. INTRODUÇÃO

O principal aspecto que diferencia o agregado reciclado de concreto (ARC) do agregado natural (NA) é a presença de pasta aderida a qual são atribuídas as características negativas do ARC, uma vez que esta parcela do agregado apresenta menor densidade e maior porosidade do que a fração de agregado natural. (DUAN; POON, 2014; ETXEBERRIA; VÁZQUEZ; MARÍ, 2006; JUAN; GUTIÉRREZ, 2009) Estas características levam à redução de resistência mecânica e aumento da absorção de água do agregado como um todo, se comparado a agregados naturais. (KATZ, 2003; DE BRITO et al., 2016; LI, 2009; LEE; DU; SHEN, 2012)

A qualidade do ARC está atrelada à qualidade da argamassa do concreto de origem e à quantidade de pasta aderida. (TAM et al., 2007). Como o volume de argamassa aderida depende de fatores como resistência mecânica e processo de cominuição, é possível encontrar na bibliografia valores que variam de 20 a 70% para a quantidade, em massa, de pasta no ARC. Além disso, o ARC apresenta maiores regiões caracterizadas como zona de transição (ZT), já que, além da zona de transição formada entre a nova matriz cimentícia e o agregado reciclado, existe a ZT entre agregado natural e a pasta do concreto que originou o AGRC (Figura 1). (XIAO, J. et al., 2013; RYU, 2002)

Figura 1. Zona de transição em concretos com AGRC



Adaptado de (RYU, 2002)

A ZT é reconhecida como a região mais frágil do concreto por conter um menor empacotamento das partículas e maior acúmulo de água. (SCRIVENER; CRUMBIE; LAUGESSEN, 2004). O filme de água criado no entorno do agregado contribui para que os íons sejam diluídos com facilidade originando cristais maiores e, muitas vezes, perpendiculares ao agregado, aumentando a porosidade e espessura da ZT. (MONTEIRO; MASO; OLLIVIER, 1985; MASO; 1980 apud Mehta; Monteiro, 2006)

Estudos foram desenvolvidos com o intuito de tratar o ARC, através da eliminação da argamassa aderida ou do melhoramento de propriedades da pasta, aproximando o desempenho de concretos formados apenas por agregados naturais aos concretos com incorporação de ARC, tornando o uso do ARC mais atraente tecnicamente.



2. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma revisão bibliográfica acerca dos métodos de tratamento do agregado graúdo reciclado de concreto, trazendo trabalhos de relevância internacional e de autores com experiência no assunto.

3. MÉTODOS

A fim de reunir estudos a nível internacional, realizou-se pesquisa nos principais periódicos na área de materiais de construção, concreto, resíduos da construção, entre outros. Destacam-se os tratamentos destinados aos agregados graúdos reciclados de concreto (AGRC), por estes diferirem em características e métodos de utilização em relação à fração fina de agregado reciclado. Foram selecionados os trabalhos mais atuais ou que descreviam de maneira mais detalhada os procedimentos para beneficiamento do AGRC.

4. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

A seguir são apresentados os principais tratamentos aplicados aos agregados reciclados de concreto.

4.1. Remoção da argamassa residual do arc

4.1.1 Beneficiamento por processo mecânico

Este processo utiliza moinho de bolas, equipamento de abrasão Los Angeles, triturador de rotor excêntrico, britador de mandíbula e demais moedores mecânicos. Montgomery (1998) utilizou um equipamento de abrasão Los Angeles como forma de melhorar a superfície do agregado. Observou-se que concretos desenvolvidos com agregados que passaram por mais rotações de abrasão tiveram um melhoramento tanto na resistência à compressão quanto nos ensaios feitos no estado fresco. O ensaio de abatimento mostrou uma melhor trabalhabilidade nos concretos feitos com o agregado reciclado com menor quantidade de argamassa residual.

Durante o processo de abrasão há a possibilidade de surgirem microfissuras na argamassa e na ZT, porém, são insignificantes quando comparadas ao ganho de desempenho após o tratamento. (NAGATAKI et al., 2004)

Apesar dos benefícios concedidos ao ARC, os processos mecânicos diminuem a quantidade de agregado reciclado originado de um bloco de concreto e aumentam a quantidade de finos residuais do processo abrasivo. (NAGATAKI et al., 2004)

Estes processos aumentam o consumo de energia e a emissão de CO₂ em cerca de 4 vezes mais que os processos convencionais de reciclagem. Entre os métodos, o que apresenta melhor eficácia é o abrasivo, quando comparado com os equipamentos de compressão (britador de mandíbula) e impacto. (QUATTRONE; ANGULO; JOHN, 2014)



4.1.2 Beneficiamento por processo termo-mecânico

Consiste em enfraquecer a argamassa aderida por meio de aquecimento, podendo ser necessária a utilização de um britador para separação mais eficiente da argamassa (BRU et al., 2014). A literatura indica que o ARC quando submetido a temperatura de 550 °C perde cerca de 55% à 70% da pasta. (GEORGALI; TSAKIRIDIS, 2005). Para que a remoção de argamassa seja próxima da totalidade, a temperatura deve ser no mínimo de 750 °C. (MULDER; BLAAKMEER; NIJLAND, 2002) Bru et al. (2014) procederam a remoção da argamassa residual colocando os agregados em micro-ondas a 4,4kW durante meio minuto e após, passaram os agregados para um britador de impacto a 290rpm. O processo foi eficiente para a remoção da argamassa aderida, pois facilitou seu desprendimento do agregado gráudo natural e diminui a quantidade de energia gasta em britadores. Com relação ao consumo de energia e emissão de CO₂, apesar do processo com micro-ondas e britador despende maior quantidade de energia que o processo convencional de reciclagem, apresentou melhor eficiência energética quando comparado com os beneficiamentos mecânicos. O processo termo-mecânico perde essa vantagem quando utilizados forno rotativo ou forno a base de querosene. (QUATTRONE; ANGULO; JOHN, 2014)

4.1.3 Limpeza com ultrassom

A limpeza em banho ultrassônico consiste em imergir o ARC em solução, em um tanque composto por gerador e transdutor. O gerador, através de energia elétrica, emite um sinal com uma certa frequência – no caso de frequências ultrassônicas este valor deve ser superior a 20 kHz – a partir do qual o transdutor passa a vibrar e emitir ondas que se propagam através do tanque e do líquido no seu interior. A vibração do líquido produz o fenômeno de cavitação, a partir do qual bolhas microscópicas colapsam e liberam energia. A energia do processo de cavitação pode ser usada como forma de desagregar partículas e, no caso específico dos agregados reciclados, como meio de eliminar partículas mais finas e frágeis da argamassa aderida ao agregado natural. Após o processo, é recomendável que se faça o enxágue dos agregados em água corrente, destilada ou deionizada.

Usualmente o banho em ultrassom é realizado com imersão em água, em ciclos de aproximadamente 10 minutos, cujo número de repetições vai depender da aderência da pasta, já que o processo é considerado encerrado quando a água da solução estiver limpa. Concretos de baixa resistência tendem a necessitar um maior número de ciclos, já que durante o processo de cominuição, a pasta mais frágil leva ao maior desprendimento de finos. (KATZ, 2004)

4.1.4 Imersão em solução ácidas

Para este tratamento, utilizam-se diferentes concentrações e soluções de ácidos. Autores retratam o uso de ácido hidroclorídrico, ácido acético, ácido nítrico, ácido sulfúrico e ácido fosfórico (AL-BAYATI et al., 2016; TAM et al., 2007; ISMAIL; RAMLI, 2013). Usualmente o tempo de imersão dos agregados nas soluções ácidas é de 24 horas, após as quais o AGRC é lavado em água corrente ou destilada.

Autores estudaram a aderência de barras de aço em concretos feitos com AGRC com diferentes tratamentos, todos eles com a premissa de eliminação da argamassa aderida. Utilizou-se método químico com submersão do AGRC em solução ácida de 1 M por 24 horas; método mecânico em máquina de abrasão do tipo Los Angeles e método térmico com aquecimento a 500 °C por 2 horas e resfriamento brusco em água. O autor seguiu os métodos de Movassaghi, Babu et al. e Juan e Gutierrez, respectivamente. Ao empregar o método químico, obteve redução de 36,7 % de absorção de água em relação ao ARC sem tratamento, enquanto os métodos mecânico e térmico



apresentaram redução de 32,3 % e 17%. Justificaram os resultados através dos teores de argamassa no AGRC que foram de 2% para o tratamento com ácido, 5% para o mecânico e 11% para o térmico. (ATMAJAYANTI et al., 2018)

O método com imersão em soluções ácidas é considerado como um dos mais eficientes na retirada de pasta aderida de AGRC, porém envolve um processo perigoso e é necessário realizar tratamento dos resíduos.

4.2. Melhoria da superfície do arc

4.2.1 Tratamento superficial com pastas pozolânicas

al.,2010; RYU, 2002). O processo de mistura costuma seguir o método em três estágios (item 3.4), que tem se mostrado eficiente. A pozolana, ao reagir com o CH livre, gera novos produtos de hidratação aumentando a durabilidade do concreto e melhorando o desempenho mecânico. (LI; XIAO; ZHOU, 2009; LEI et al., 2009)

Diferentes autores estudaram a imersão de ARC em soluções com materiais pozolânicos em uma (KATZ, 2004), duas (TAM; TAM, 2007) e até três fases (KONG, 2010). Percebe-se que o tratamento com adições se funde ao beneficiamento por ordem de mistura, aliando duas técnicas que visam a redução da absorção de água, pelo AGRC, da pasta do novo concreto. A Figura 2 ilustra os métodos de mistura.

Figura 2. Métodos de mistura em um, dois e três estágios



Adaptado (KONG et al., 2010)

O método de mistura tripla utilizado por Kong (2010) consistia em misturar por 15 segundos os agregados graúdos e finos reciclados com certa quantidade de água. Esta quantidade de água representava 1,2 vezes a diferença entre a massa total de água a ser inserida no concreto e a



parcela de água de amassamento da mistura. Depois, as adições minerais – neste caso cinza volante e escória de granulometria inferior a 45 μm - são inseridas no misturador com os agregados úmidos, agitando-se por mais 15 segundos. O terceiro, e último estágio, é a introdução de cimento e superplastificante. Chegou-se a valores de resistência à compressão considerados equivalentes ao concreto de referência (com agregados naturais e mistura em 1 estágio) e superiores aos concretos com agregados reciclados preparados em dois estágios. Destaca-se o melhor desempenho da escória tanto no preenchimento de poros quanto na melhoria da ZT através da formação de produtos de hidratação. Com o uso de cinza volante houve um acréscimo de resistência, em relação aos concretos preparados em dois estágios, sendo observado o consumo de hidróxido de cálcio, porém em menor intensidade se comparado à escória utilizada. Os autores explicam este resultado pela maior reatividade e menor granulometria da escória. (KONG, et al., 2010)

4.2.2 Carbonatação do ARC

Tem-se estudado a carbonatação do ARC de forma que haja colmatação dos poros da argamassa aderida. O CO_2 reage com o hidróxido de cálcio presente na pasta formando carbonato de cálcio, preenchendo os poros e microfissuras da argamassa antiga (THIERY et al., 2007). Como os poros são preenchidos com os produtos da carbonatação como calcita e aragonita, há diminuição consideravelmente a absorção de água, tornando o agregado mais denso e melhorando seu desempenho mecânico e durabilidade. (XUAN; ZHAN; POON, 2017)

O processo de carbonatação em agregados reciclados reduz cerca de 49% as taxas de emissões de CO_2 , pois captura gás carbônico em quantidade superior à sua emissão no meio ambiente. (HENTGES, 2018)

4.2.3 Tratamento superficial com polímeros

Consiste na utilização de soluções de polímeros para formação de filmes na superfície do agregado diminuindo a absorção de água e preenchendo seus poros. Podem ser utilizados produtos como polidiorganosiloxanos (conhecidos como siloxanos ou PDMS) e alquilalkoxisilanos (conhecidos como silanos) com propriedade hidrofugante ou polímeros solúveis em água como silicato de sódio (SPAETH; TEGGUER, 2013). Há estudos que utilizam geopolímeros a base de cinza volante. (JOZEF; SICAKOVA, 2017)

A impregnação pode ser realizada em um ou dois estágios, mergulhando os agregados em uma solução por vez durante poucos minutos e efetuando sua posterior secagem. O processo de secagem pode ser efetuado em temperatura ambiente, em estufa ventilada ou ambos.

Em estudo realizado com seis soluções - com composição variando entre silicato de sódio, silanos e siloxanos em diferentes concentrações – e utilizando impregnação simples e impregnação dupla, os autores observaram que soluções com concentrações de 30% de silicato de sódio ou emulsão contendo silolano e silano promoveram os melhores resultados na redução de absorção de água. Os autores alertam para a combinação de dois banhos em soluções poliméricas, já que certas combinações aplicadas levaram a um resultado negativo, explicado pela interação entre os polímeros que gerou um filme instável e não aderente à superfície dos poros. (SPAETH; TEGGUER, 2013)

Outros autores utilizaram pasta de geopolímeros a base de cinza volante. Para isso utilizou-se dois métodos de impregnação: simples imersão e mistura em três estágios. Como resultado, percebeu-se redução na absorção de água em ambos os métodos e, no caso da mistura em três estágios,



aumento da resistência à compressão do concreto em relação a todas as outras misturas. (JUNAK; SICAKOVA, 2017)

4.3. Métodos de mistura

O melhoramento do ARC por método de mistura é o mais prático de ser realizado, dependendo apenas da ordem de colocação dos agregados na betoneira e do tempo da mistura. Basicamente o processo consiste em criar uma fina camada de cimento no entorno do agregado para que este produza uma melhor zona de transição entre o ARC e a nova pasta de cimento.

Existem processos de mistura em dois estágios (TAM; TAM, 2007) e os processos de mistura em três estágios (LEI et al., 2009). No último caso, ao invés de criar um filme de cimento em volta do agregado, cria-se um filme de materiais pozolânicos (sílica ativa, cinza volante, etc.). Este processo é descrito no item 4.2.1.

Autores observaram através de microscopia e nanoindentação que utilizando o método de dois estágios é possível obter concretos com ZT menos porosa e com menor teor de hidróxido de cálcio. (LI, et al., 2012)

5. CONCLUSÕES

A utilização de agregados reciclados mostra-se muito promissora quando são adotados métodos de tratamento, alcançando-se desempenhos similares a concretos com agregados naturais. Dentre os métodos - remoção de pasta aderida, tratamento superficial do agregado e método de mistura -, percebe-se que os dois últimos apresentam um caráter mais sustentável. Primeiramente por não gerarem mais resíduos através do descarte da pasta retirada do AGRC ou de ácidos, além de o consumo de energia, que em processos como alteração de ordem de mistura, permanece o mesmo de concretos que utilizam agregados naturais. Ainda há a possibilidade de se utilizar resíduos no tratamento superficial, como escórias, cinzas e, inclusive, o CO₂. Deve-se levar em consideração o custo necessário para a aplicação dos processos e sua produtividade.

Os métodos que possuem maior disponibilidade de material bibliográfico são aqueles que envolvem tratamento superficial. Tratamentos mais específicos como retirada de argamassa aderida por micro-ondas ou banho em ultrassom, carecem de estudos. Percebe-se que os trabalhos mais antigos destacam a preocupação com a absorção de água do AGRC enquanto os trabalhos atuais dedicam atenção especial à qualidade da zona de transição. A preocupação com a microestrutura pode ter ganhado destaque pelo desenvolvimento de métodos de nanocaracterização pelo alcance de métodos eficazes na redução de absorção de água por parte do agregado reciclado.

REFERÊNCIAS

1. ATMAJAYANTI, A. T.; SARAGIH, C. D.; HARYANTO, Y. The effect of recycled coarse aggregate (RCA) with surface treatment on concrete mechanical properties. In: The 4th International Conference on Rehabilitation and Maintenance in Civil Engineering (ICRMCE 2018), 2018. **Anais**. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201819501017>.
2. AL-BAYATI, H. K. A. et al. Evaluation of various treatment methods for enhancing the physical and morphological properties of coarse recycled concrete aggregate. **Construction and Building Materials**, v.



112, p. 284-298, 2016.

3. BRU, K. et al. International Journal of Mineral Processing Assessment of a microwave-assisted recycling process for the recovery of high-quality aggregates from concrete waste. **International Journal of Mineral Processing**, v. 126, p. 90–98, 2014.

4. DE BRITO, J. et al. Structural, material, mechanical and durability properties and behaviour of recycled aggregates concrete. **Journal of Building Engineering**, v. 6, p. 1–16, 2016.

5. DUAN, Z. H.; POON, C. S. Properties of recycled aggregate concrete made with recycled aggregates with different amounts of old adhered mortars. **Materials and Design**, v. 58, p. 19–29, 2014.

6. ETXEBERRIA, M.; VÁZQUEZ, E.; MARÍ, A. Microstructure analysis of hardened recycled aggregate concrete. **Magazine of Concrete Research**, v. 58, n. 10, p. 683–690, 2006.

7. GEORGALI, B.; TSAKIRIDIS, P. E. Microstructure of fire-damaged concrete . A case study. v. 27, p. 255–259, 2005.

8. HENTGES, T. I. **Tratamento do agregado reciclado de concreto por carbonatacao e por impregnacao de microfinos de ceramica vermelha**. 2018. 160f. Dissertacao (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pos-Graduacao em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, Sao Leopoldo, RS, 2018.

9. ISMAIL, S.; RAMLI, M. Engineering properties of treated recycled concrete aggregate (RCA) for structural applications. **Construction and Building Materials**, v. 44, p. 464-476, 2013.

10. JUAN, M. S.; GUTIÉRREZ, P. A. Study of the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate. **Construction and Building Materials**, v. 23, n. 2, p. 872-877, 2009.

11. JUNAK, J.; SICAKOVA, A. Concrete containing recycled concrete aggregate with modified surface. **Procedia Engineering**, v. 180, p. 124-1291, 2017.

12. KATZ, A. Properties of concrete made with recycled aggregate from partially hydrated old concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 33, n. 5, p. 703–711, 2003.

13. KATZ, A. Treatments for the improvement of recycled aggregate. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 16, n. 6, p. 597-603, 2004.

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

15. LEE, C. H.; DU, J. C.; SHEN, D. H. Evaluation of pre-coated recycled concrete aggregate for hot mix asphalt. **Construction and Building Materials**, v. 28, n. 1, p. 66–71, 2012.

16. LEI, T. et al. Effect and mechanism of surface-coating pozzalanics materials around aggregate on properties and ITZ microstructure of recycled aggregate concrete. **Construction and Building Materials**, v. 24, n. 5, p. 701–708, 2009.

17. LI, J.; XIAO, H.; ZHOU, Y. Influence of coating recycled aggregate surface with pozzolan powder on properties of recycled aggregate concrete. v. 23, p. 1287–1291, 2009.

18. LI, W. et al. Interfacial transition zones in recycled aggregate concrete with different mixing approaches. **Construction and Building Materials**, v. 35, p. 1045-1055, 2012.

19. LI, X. Recycling and reuse of waste concrete in China. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 53, n. 3, p. 107–112, 2009.

20. MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concrete: Microstructure, Properties, and Materials**. 3o. ed. [S.I.]: McGraw-Hill, 2006. 647 p.



21. MONTEIRO, P. J. M.; MASO, J. C.; OLLIVIER, J. P. The aggregate-mortar interface. **Cement and concrete research**, [S.l.], v. 15, n. 6, p. 953-958, mar. 1985.
22. MONTGOMERY, D. G. Workability and compressive strength properties of concrete containing recycled concrete aggregate. Sustainable Construction: Use of Recycled Concrete Aggregate-proceedings of the International Symposium Held at Department of Trade and Industry Conference Centre. **Anais...1998**
23. MULDER, E; BLAAKMEER, J; NIJLAND, T. A closed material cycle for concrete as part of an integrated process for the reuse of the total flow of c & d waste. **Sustainable Concrete Construction**, v. 5, 2002.
24. NAGATAKI, S. et al. Assessment of recycling process induced damage sensitivity of recycled concrete aggregates. v. 34, p. 965–971, 2004.
25. QUATTRONE, M.; ANGULO, S. C.; JOHN, V. M. Resources , Conservation and Recycling Energy and CO 2 from high performance recycled aggregate production. “**Resources, Conservation & Recycling**”, v. 90, p. 21–33, 2014.
26. RYU, J. S. Improvement on strength and impermeability of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate. **Journal of Materials Science Letters**, v. 21, n. 20, p. 1565-1567, 2002.
27. SCRIVENER, Karen L.; CRUMBIE, Alison K.; LAUGESSEN, Peter. The interfacial transition zone (ITZ) between cement paste and aggregate in concrete. **Interface Science**, [s. l.], v. 12, n. 4, p. 411–421, 2004.
28. SPAETH, V.; TEGGUER, A. D. Improvement of recycled concrete aggregate properties by polymer treatments. **International Journal of Sustainable Built Environment**, v. 2, n. 2, p.143-152, 2013.
29. TAM, V. W. Y. et al. Removal of cement mortar remains from recycled aggregate using pre-soaking approaches. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 50, n. 1, p. 82-101, 2007.
30. TAM, V. W. Y.; TAM, C. M. Assessment of durability of recycled aggregate concrete produced by two-stage mixing approach. **Journal of Materials Science**, v. 42, n. 10, p. 3592–3602, 2007.
31. THIERY, M. et al. Investigation of the carbonation front shape on cementitious materials: Effects of the chemical kinetics. **Cement and Concrete Research**, v. 37, n. 7, p. 1047–1058, 2007.
32. XIAO, J. et al. Properties of interfacial transition zones in recycled aggregate concrete tested by nanoindentation. **Cement and Concrete Composites**, v. 37, p. 276-292, 2013.
33. XUAN, D.; ZHAN, B.; POON, C. S. Durability of recycled aggregate concrete prepared with carbonated recycled concrete aggregates. **Cement and Concrete Composites**, v. 84, p. 214–221, 2017.