XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

O estado da arte sobre o uso dos agregados reciclados como agentes de cura interna em concretos

The state of the art on the use of recycled aggregates as internal curing agents in concretes

Paulo Henrique Vaz da Silva
Universidade Federal de Minas Gerais | Belo Horizonte | Brasil | pauloh.vazs@gmail.com
White José dos Santos
Universidade Federal de Minas Gerais | Belo Horizonte | Brasil | white.santos@demc.ufmg.br
Fernando Couto Rosa Almeida
Universidade Federal de Minas Gerais | Belo Horizonte | Brasil | fernando@demc.ufmg.br

Resumo

Esse trabalho buscou apresentar o estado da arte sobre a aplicação de agregados reciclados de concreto como agentes de cura interna, por meio de uma revisão sistemática da literatura. De forma geral, à medida que se aumenta o teor de substituição do agregado natural pelo reciclado, percebe-se uma diminuição das propriedades mecânicas, da densidade e um aumento absorção de água. Além disso, observou que a presença do resíduo pode levar a um aumento da retração por secagem. Porém, isso resulta em diminuição da retração autógena, comprovando a sua aplicação como promotor interno de cura.

Palavras-chave: Agregado reciclado de concreto. Retração. Durabilidade. Cura interna.

Abstract

This work sought to present the state of the art on the application of recycled concrete aggregates as internal curing agents, through a systematic review of the literature. In general, as the replacement of natural aggregate by recycled increases, a decrease in mechanical properties, density and an increase in water absorption are observed. In addition, it was observed that the presence of the residue can lead to an increase in drying shrinkage. However, this results in decreased autogenous shrinkage, proving its application as an internal healing promoter.

Keywords: Recycled Concrete Aggregate. Shrinkage. Durability. Internal curing.

Como citar:
SILVA, P. H. V; SANTOS, W. J; ALMEIDA, F. C. R. O estado da arte sobre o uso dos agregados reciclados como agentes de cura interna em concretos. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. XXX-XXX.

INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos setores mais importantes da economia brasileira, pois além de empregar mais de 2,3 milhões de pessoas, movimentou 226 bilhões de reais em 2021 [1]. Paralelamente com sua importância social e econômica, tem-se sua função ambiental, cujo setor consome uma quantidade significativa de recursos não renováveis [1].

Segundo a resolução nº 307 do CONAMA [2] o resíduo de construção e demolição (RCD) é todo aquele proveniente de construção, reforma, reparo e demolição. Eles são classificados em quatro classes: A, B, C e D. Os resíduos de classe A são aqueles que podem ser reciclados ou reutilizados como agregados, tais como tijolos, argamassa, concreto, entre outros. Somente no ano de 2021, foram coletados mais de 47 milhões de toneladas de RCD nas cidades brasileiras, sendo a maior parte de material inerte [3]. Para a realidade do município de Belo Horizonte (MG), estima-se que 90% de todo RCD são compostos por resíduos de classe A, e, portanto, poderiam ser reaproveitados como agregado reciclado [4]. Essa proposta diminui o consumo de recursos não renováveis e promove o aumento da sustentabilidade do setor.

Além disso, o fenômeno da retração pode estar associado com a perda ou consumo de água durante o endurecimento do concreto [11]. A água utilizada na mistura pode evaporar para o ambiente ou ser consumida nas reações de hidratação do cimento. Isso faz com que o volume total do concreto reduza, aumentando a susceptibilidade de fissuração e comprometimento da vida útil da estrutura. Uma forma de minimizar tais efeitos é através de adequados processos de cura. Essa atividade, na maioria das vezes, é realizada por métodos ativos, como aspersão de água ou aplicação de produtos impermeabilizantes na superfície da estrutura recém concretada. Além de consumir muita água, também é necessário dispor de mão de obra para realização dessa atividade.

Como alternativa, métodos passivos podem ser considerados por meio de agentes de cura interna. Ou seja, materiais incorporados na própria mistura, capazes de absorver água e liberá-la lentamente durante o endurecimento do concreto [9, 12]. Isso pode levar à melhoria da eficiência do processo, pelo aumento no controle de qualidade e redução de custo de mão de obra.

Assim, devido à sua alta capacidade de absorção de água, os agregados reciclados possuem elevado potencial de serem utilizados para tal finalidade. Portanto, o presente trabalho busca apresentar o estado da arte sobre a aplicação de agregados reciclados como agentes de cura interna em concretos.

METODOLOGIA

Para o desenvolvimento dessa pesquisa, foi realizada uma revisão bibliográfica sistemática sobre agregados reciclados, oriundos de RCD. Os artigos que compõe as referências bibliográficas foram selecionados a partir da base de dados *ScienceDirect* (*Elsevier*), acessados através do portal CAPES. A escolha foi baseada no fato dessa ser uma das principais bases de dados para assuntos relacionados à Engenharia.

Em seguida, foram testados conjuntos de palavras chaves de forma a obter o maior número possível de trabalhos relacionados ao tema. A fim de se utilizar apenas artigos do estado da arte, foram filtrados os trabalhos publicados entre 2015 e 2022. Nessa seleção foram excluídos trechos de livros, ficando apenas artigos de pesquisa e de revisão bibliográfica.

A Tabela 1 mostra as combinações realizadas e os resultados encontrados.

Tabela 1: Busca de artigos acadêmicos, utilizando três palavras chaves.

Palavras chaves	Núm. resultados encontrados
shrinkage AND *CDW* AND "*internal curing*"	90
shrinkage AND "*construction and demolition waste*" AND "*internal curing*"	67
shrinkage AND "*Recycled Concrete Aggregate*" AND "*internal curing*"	25

Fonte: Os autores.

Entre os termos selecionados, o que apresentou uma maior quantidade de trabalhos foi: *shrinkage* AND "*Recycled Concrete Aggregate*" AND "*internal curing*". Em seguida, foi realizada a leitura de todos os títulos, e aqueles que não tiveram aderência com o escopo desse trabalho foram descartados. Dos 90 trabalhos selecionados inicialmente, 34 foram removidos em virtude desse critério. Por último, foram excluídos trabalhos que não eram possíveis de serem acessados pela plataforma da CAPES, o que restou em um total de 55 trabalhos.

Para filtrar ainda mais a busca, foi verificada a quantidade de citação de cada artigo selecionado. Para isso, utilizou-se a plataforma do Google acadêmico. Os trabalhos foram classificados em ordem decrescente a partir da quantidade de citações e foi calculado o percentual de citações para cada trabalho. Os trabalhos que compõe as referências deste artigo, foram aqueles cuja quantidade de citações acumuladas foi superior a 80%.

Além disso, para os trabalhos de 2021 e 2022, por serem muito recentes e não terem tempo suficiente de serem citados, foi realizada a leitura dos resumos e aqueles pertinentes foram inseridos na base de referência. Foram considerados relevantes aqueles trabalhos publicados em revistas A1 e A2 (QUALIS CAPES, 2013-2016) de autores especialistas no tema, que tiveram alto índice de citações em publicações anteriores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos trabalhos encontrados, foram discutidas as principais características dos agregados reciclados, bem como a influência de sua aplicação em concretos como agentes de cura interna.

Agregado Reciclado de Concreto (ARCO)

Os agregados reciclados são divididos em três grandes grupos: agregado reciclado de concreto (ARCO), agregado reciclado cimentício (ARCI), e agregado reciclado de resíduo misto (ARM), podendo serem utilizados na fração graúda e miúda [13].

A diferença entre esses três grupos está na matéria prima utilizada para sua produção. Para os ARCO's é usado, majoritariamente, resíduos oriundos de concreto, enquanto para produção do ARCI's aproveita-se pedaços de blocos de concreto, argamassas, resíduo de concretagem, sendo ainda admitido pequeno percentual de material cerâmico. Por último, o ARM é o agregado produzido com a mistura de materiais cimentícios e cerâmicos, estando presente peças pré-moldadas, telhas cerâmicas, argamassas, blocos entre outros. Esse trabalho focou no estudo do ARCO.

Os ARCO´s são produzidos através da trituração de fragmentos de estruturas de concreto, peças pré-moldadas, calçamentos, entre outras estruturas. Em função disso, observa-se heterogeneidade em suas propriedades, sendo essas fortemente influenciadas pelo material de origem e o processo de produção. No estudo realizado por [14], os agregados passaram por um processo de tripla moagem, observando uma melhora nas propriedades do material.

Nos trabalhos de [5, 8, 10, 15], onde foram avaliados agregados reciclados de diversas origens, contatou-se que as propriedades físicas desses materiais, como a densidade e absorção de água, variavam 20% entre das amostras de diferentes tipos de ARCO.

Dessa forma, existe uma diferença significativa entre as propriedades do agregado natural e do ARCO. Para [15], essas diferenças se dão principalmente pela presença de argamassa aderida. Segundo os autores esse fato consegue justificar as diferenças de densidade, absorção de água e abrasão *Los Angeles* entre o agregado natural e o reciclado. Nos próximos tópicos serão discutidos algumas das propriedades físicas dos ARCO.

DENSIDADE

Ao caracterizar os agregados reciclados, [16] identificaram que o peso específico desse material é inferior aos agregados naturais. Da mesma forma, [5] verificaram que quanto menor a qualidade do resíduo utilizado para produção do agregado, menor é sua densidade.

Em seus estudos, mesmo com a utilização de concretos com resistências de 74 MPa para produção dos ARCO, [9] identificaram uma queda da densidade do agregado reciclado graúdo. Um efeito similar foi observado por [7] que utilizou tanto os agregados reciclados miúdo, quanto os graúdos.

Assim, de modo geral, o ARCO tem uma densidade inferior ao natural. Os pesquisadores argumentam que essa diminuição na densidade ocorre em virtude da argamassa aderida ao agregado [9, 17].

ABSORÇÃO DE ÁGUA

Outro fato bastante peculiar desse tipo de material é sua elevada absorção de água, seja por imersão ou capilaridade. Por serem mais porosos, os ARCO's possuem maior área superficial quando comparados com o agregado natural [18].

Esse fato acaba influenciando sua capacidade de absorver água. Segundo [19], essa é uma das propriedades mais divergentes entre o agregado natural e o reciclado, sendo que o agregado reciclado chega a ser três vezes mais absorvente que o agregado natural. Esse aumento da absorção da água vem sendo atribuído pelos pesquisadores devido a maior porosidade que esse material possui [8, 9, 18]. Esse fato, favorece o uso dos agregados reciclados como promotores de cura interna para concretos.

GRANULOMETRIA

O ARCO usualmente apresenta índice de forma superior ao dos agregados naturais, o que indica uma maior diferença entre o comprimento e a espessura das partículas [14, 17].

Relativo à sua distribuição granulométrica, o que se observa é que é possível controlá-la em virtude dos tipos e da quantidade de rompedores e peneiradores utilizados para sua produção. Assim, é possível atingir curvas granulométricas muito próximas as do agregado natural [16, 19, 20].

RESISTENCIA À ABRASÃO

Para caracterização dos agregados graúdos quanto ao desgaste, é realizado o ensaio de abrasão *Los Angeles* [21]. Para que os agregados possam ser utilizados na produção de concreto, esses devem apresentar índice de desgaste inferior a 50% (em massa). A literatura nos traz que os ARCO apresentam um índice Los Angeles superior aos agregados naturais, o que indica que esse material possui menor resistência ao desgaste superficial que o agregado convencional, mesmo encontrando-se dentro dos limites estabelecidos pelas normas técnicas. Para [14] esse fato se dá em virtude da presença de argamassa aderida e também do processo de obtenção dos agregados reciclados, uma vez que durante a produção são formadas microfissuras no material. Essa característica também foi observada por [25].

Características de concretos produzidos com ARCO

Os concretos produzidos com ARCO são aqueles cujo parte dos agregados naturais, seja a fração miúda ou graúda, é substituída pelo agregado reciclado. O que se observa na literatura é essa substituição usualmente feita por volume, devido a diferença significativa entre a densidade dos agregados naturais e reciclados. Os percentuais de substituição variam de 10% até 100%, seja da fração graúda, miúda ou de ambas [6, 12, 18].

Sobre a dosagem, os pesquisadores vêm adotando a fixação do índice de consistência (pelo *Slump test*), de forma a comparar concretos com trabalhabilidades semelhantes [14, 17, 28]. Para isso ajustes na quantidade de água ou aditivo é realizado para as

amostras com ARCO. Nos próximos tópicos serão discutidas as propriedades no estado fresco, características físicas e mecânicas no estado endurecido, retração e aspectos de durabilidade do concreto produzido com esse tipo de agregado.

PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO

Referente ao estado fresco, a maior parte dos estudos utilizam apenas o ensaio de *Slump test* [24], para avaliação da trabalhabilidade do concreto. O que vem sendo observado é que a presença dos ARCO promove uma redução dessa propriedade pela diminuição da consistência. A água absorvida pelo agregado durante o processo de mistura pode ficar armazenada para garantir a cura interna da matriz cimentícia para as reações prolongadas de hidratação.

Observa-se uma relação linear entre o teor de substituição e a queda de trabalhabilidade. Essa diminuição da trabalhabilidade pode ser compensada pelo acréscimo de água na mistura ou utilizando aditivos superplastificantes [7, 23].

Para os concretos que são produzidos apenas com ARCO graúdo, o impacto dessa redução da trabalhabilidade é menor quando comparados aos concretos produzidos com a fração miúda desse material, mostrando maior influência dessa última. As pesquisas apontam que essa redução da trabalhabilidade está associada com a elevada absorção do agregado reciclado, sobretudo de granulometria menor [18, 25].

Como forma de compensar esse efeito, alguns autores têm adotado pré-saturação do agregado ou a compensação da água pelo cálculo da relação água/cimento efetivo. Segundo [13], o cálculo da relação água/cimento efetivo é feito pelas Equações (1) e (2):

$$a/C_e = C_{ae}/C_c \quad (1)$$

$$C_{ae} = C_{at} - (C_{ag} x\, A\, x\, K_1) - (C_{am} x\, A\, x\, K_1) \quad (2)$$

Onde C_{ae} é a quantidade de água efetiva (kg), C_c o consumo de cimento (kg/m^3 de concreto), A é absorção do agregado (%), K_1 é fração de água absorvida nas primeiras 24h pelo agregado (%), C_{ag} e C_{am} quantidade de agregado reciclado graúdo e miúdo, respectivamente (kg/m^3 de concreto).

Outra forma investigada para minimizar os impactos causados por esse material é a alteração do processo de mistura. Os processos de mistura adotado por [25] e [18] podem ser vistos na Figura 1.

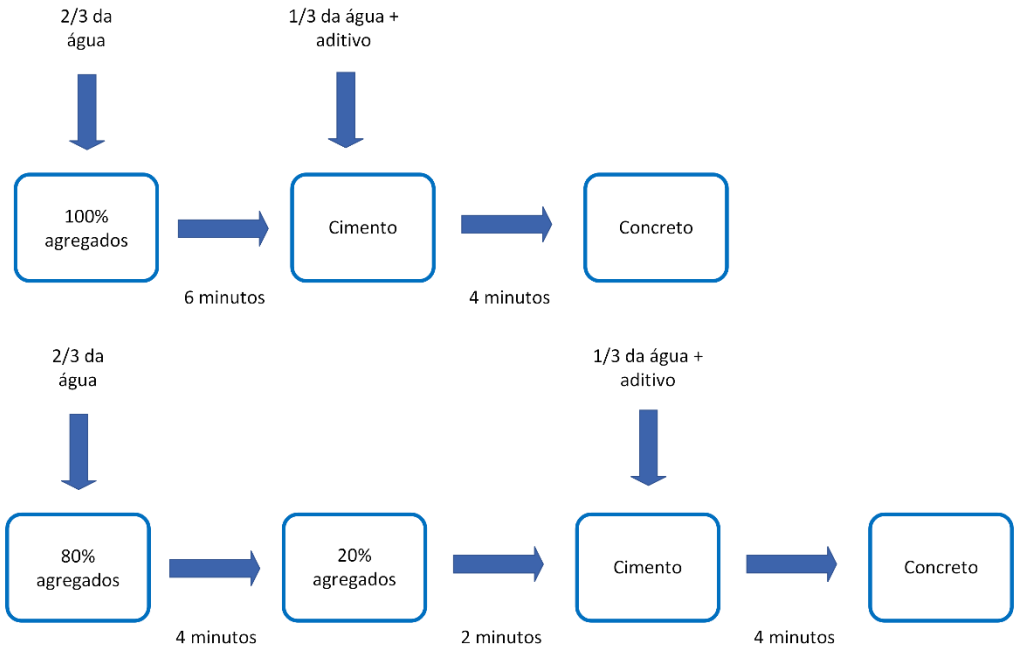
A simples modificação do processo por [18], juntamente com a utilização da compensação de água ou saturação, se mostrou eficaz para reduzir os impactos dos agregados reciclados na trabalhabilidade do concreto.

PROPRIEDADES FÍSICAS NO ESTADO ENDURECIDO

No estudo de [18], os autores identificaram que a presença do ARCO promoveu um aumento significativo da absorção de água no concreto, seja por capilaridade ou por imersão. Esse aumento também foi observado por [6], que associou esse acréscimo na absorção do concreto ao fato do ARCO ser mais absorvente que o agregado natural. Para [17] esse aumento na absorção está relacionado diretamente com a argamassa

aderida no agregado e que, quanto maior a quantidade da substituição realizada, maior será a capacidade absorvente do concreto.

Figura 1: Diferentes modelos de mistura para produção de concreto com agregado reciclado. Acima modelo utilizado por [25] e abaixo por [18].



Fonte: Adaptado pelos autores de [25] e [18].

Outra propriedade amplamente investigada é a porosidade. Através do ensaio de intrusão de mercúrio, [5] e [26] verificaram que a presença do agregado reciclado promoveu um aumento no volume de poros do concreto.

PROPRIEDADES MECÂNICAS

De maneira geral, as resistências à compressão de concretos produzidos com ARCO tendem a ser inferiores àquelas utilizando apenas agregado natural. Também se observa que, quanto maior o percentual de substituição, maior será a diminuição da resistência. Apesar dessa redução, é possível alcançar resistências à compressão superiores a 20 MPa, mesmo com substituições de 100% do agregado natural, o que permitiria a sua utilização com finalidade estrutural de acordo com a NBR 6118 [15, 20, 27].

No estudo de [14] avaliou-se o desempenho de concretos produzidos com substituição de 25% a 100% do agregado natural pelo ARCO graúdo, sendo feita correção do fator a/c em virtude da presença do agregado reciclado. Também foram avaliadas amostras onde a correção da trabalhabilidade foi feita utilizando aditivo superplastificante (teor de 1% sobre a massa de ligante). Os autores concluíram que a presença do ARCO promoveu uma diminuição na resistência à compressão e a tração. Essa perda foi associada à necessidade do acréscimo de água para garantir a trabalhabilidade desejada. Vale mencionar que, para amostras com aditivo superplastificante, mesmo com teor de substituição de 100%, houve melhora na resistência mecânica quando

comparada com a referência sem aditivo. Resultados similares foram encontrados [15, 28]. Isso é atribuído a cura interna proporcionada pelo agregado reciclado saturado.

Para [29], as propriedades dos concretos contendo ARCO estão diretamente relacionadas com a qualidade do agregado utilizado. Para esses autores, a utilização de materiais cimentícios suplementares (por exemplo, sílica ativa), em conjunto com aditivos superplastificantes ou mesmo com a saturação dos agregados antes da produção do concreto, tem a capacidade de minimizar os impactos negativos desse material. Para amostras com sílica ativa e aditivos superplastificante, os resultados indicaram que as resistências à compressão e tração de concretos contendo resíduos são ligeiramente inferiores às de referência. Essa estratégia de utilização de adições minerais também foi investigada por [7, 23], sendo obtidos resultados similares.

Além disso, ao verificar a substituição isolada da fração miúda e da graúda, [25] constataram que as variações na resistência mecânica são mais afetadas quando a fração miúda é substituída.

De forma análoga ao que se observa na resistência à compressão e tração, o módulo de elasticidade também sofre impacto em virtude da substituição dos agregados naturais. Em estudos, [28] encontraram diminuições significativas, na ordem de 20%, dessa propriedade. Essa diminuição era esperada, uma vez que o módulo de elasticidade está intimamente ligado com as propriedades dos materiais constituintes do concreto. Diminuição no módulo de elasticidade também foi identificada por [23, 25]. Os autores informam que porosidade do agregado em conjunto com o acréscimo de água da mistura foram os principais fatores responsáveis por esse resultado.

Apesar da diminuição da resistência mecânica do concreto, [5, 14] pontuam que as amostras contendo ARCO apresentaram maior ganho percentual de resistência com o passar do tempo. Esse fato vem sendo associado pelos pesquisadores devido ao efeito de cura interna promovido pelo ARCO [16, 29].

RETRAÇÃO

A retração no estado endurecido pode estar associada com a movimentação da água durante e depois da cura do concreto [11]. Os principais estudos com concretos produzidos com ARCO focaram nas retrações do tipo autógena e por secagem. A retração autógena pode ser entendida como uma consequência do consumo de água dos poros em função da hidratação do cimento no concreto [11]. Ela é um tipo de retração química dada pela redução do volume de poros, em virtude do aumento da tensão capilar [9]. Já a retração por secagem está associada com a perda de água para o ambiente.

Como os agregados reciclados apresentam uma maior absorção de água e porosidade, é esperado que sua presença no concreto afete significativamente essa propriedade. Em estudo realizado por [14], o concreto produzido com substituição de agregado graúdo pelo ARCO levou ao aumento da retração por secagem. Resultados similares também foram obtidos por [5, 18, 26]. Os pesquisadores associaram esse aumento à maior quantidade de água na mistura, uma vez que o ARCO é mais absorvente. O que se observa é que, quanto maior o teor de substituição realizado, e quanto maior for a

quantidade de água na mistura, maior será a retração por secagem. Além disso, [14] avaliaram a retração em amostras onde foi acrescido água e onde foi utilizado aditivos superplastificantes. Percebeu-se que a retração do concreto com ARCO sem aumento de água foi menor que a referência. Em contrapartida, para as amostras que houve a correção da quantidade de água na mistura, observou-se um aumento da retração, corroborando com os autores supracitados.

Para análises da retração autógena, os corpos de prova foram selados com uma película, de forma a impedir a perda de água para o ambiente [5]. Verificou-se que as amostras com ARCO apresentaram menor retração autógena que a amostra de referência. Os trabalhos de [9, 22, 26] também investigaram a retração autógena, e foram encontraram resultados similares. Em seus trabalhos [14, 17] comenta que essa redução na retração autógena está diretamente associada ao efeito de cura interna promovida pelo ARCO.

Para [22], o tamanho das partículas, o grau de saturação antes da realização da mistura, e a origem do agregado têm grande influência nessa propriedade.

Para [19], esse fato indica que os agregados reciclados têm potencial de serem utilizados como agentes promotores de cura interna. Isso porque a água absorvida na mistura pelo agregado poroso é liberada durante a cura, reduzindo os efeitos da retração autógena. Esse fato também foi apontado por [10, 12].

DURABILIDADE

Outro aspecto muito relevante para o concreto é em relação à sua vida útil. A busca por estruturas mais duráveis é uma preocupação recorrente na literatura, uma vez que é possível reduzir gastos com reparos, além de promover a sustentabilidade no setor da construção [15].

As propriedades de durabilidade medem o desempenho do concreto ao sofrer ataques agressivos, sejam esses físicos, químicos ou biológicos. Os principais ataques químicos investigados são os por cloreto e carbonatação.

No estudo de [14], foi investigado o efeito da substituição do agregado natural pelo ARCO nos teores de 25% e 100%. Os corpos de prova foram submetidos a carbonatação acelerada durante 91 dias. Observou-se que a presença dos agregados reciclados aumentou a frente carbonatada, e que esse aumento foi proporcional ao teor da substituição.

Apesar de [25] também ter encontrado resultados similares, os pesquisadores apontaram que o avanço da frente carbonata, em termos absolutos, não foi significativo, sendo superior a referência em apenas 6 mm nos cenários avaliados.

Relativo à penetração de cloretos, [18] observaram que, assim como ocorre na carbonatação, concretos com agregado reciclado apresentam menor resistência a esses íons. Segundos os autores, essa perda de resistência está associada à porosidade e às microfissuras existentes no agregado. O estudo de [23] também identificou que concretos com ARCO são menos resistentes a ataques por cloretos, devido ao fato do concreto se tornar mais absorvente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme verificado na literatura, a incorporação dos resíduos de construção e demolição (RCD), em especial, do agregado reciclado de concreto (ARCO), é plenamente viável para produção de concreto, seja ele com finalidade estrutural ou não. Algumas peculiaridades devem ser levadas em considerado ao se utilizar o ARCO, como, por exemplo, sua elevada porosidade e capacidade absorvente. Entretanto, isso não é um impeditivo para sua utilização. Medidas como a pré-saturação, utilização de superplastificantes e alteração no processo de mistura vem se mostrando eficazes para mitigar os impactos negativos causados pelo agregado reciclado. Apesar de promover uma diminuição da resistência mecânica, ainda é possível dosar concreto com elevadas resistências. Também deve ser observado os ambientes em que esse material será utilizado, uma vez que a presença do ARCO pode promover uma diminuição da durabilidade, em virtude do aumento da frente carbonatada e maior susceptibilidade ao ataque de cloretos. Por último, apesar do ARCO poder levar a um aumento da retração por secagem, a retração autógena é diminuída, indicando o seu potencial de utilização como agente de cura interna.

AGRADECIMENTOS

A equipe de pesquisa agradece à Universidade Federal de Minas Gerais pela infraestrutura e às agências de fomento: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Fundação de Apoio à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio concedido aos estudos do grupo.

REFERÊNCIAS

[1] Câmera Brasileira da indústria da construção – CBIC. **PIB da construção fecha o ano com crescimento de 9,7%, a maior alta em 11 anos**. 2022. Disponível em: < https://cbic.org.br/pib-da-construcao-fecha-o-ano-com-crescimento-de-97-a-maior-alta-em-11-anos/#:~:text=O%20Produto%20Interno%20Bruto%20(PIB,sexta%2Dfeira%20(4).> Acessado em 28 de abril de 2022.

[2] CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Nº 307** de 5 de julho de 2002.

[3] ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – 2021.** São Paulo. [s.n.], 2022. Disponível em: < https://abrelpe.org.br/panorama-2021/>

[4] BESSA, S. A. L., MELLO, T. A. G., LOURENÇO, K. K. Análise quantitativa e qualitativa dos resíduos de construção e demolição gerados em Belo Horizonte/MG. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 11. 2019. DOI: https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.e20180099

[5] GONZALEZ-COROMINAS, A.; ETXEBERRIA, M. Effects of using recycled concrete aggregates on the shrinkage of high performance concrete. **Construction and Building Materials**, v. 115, p. 32–41, 15 jul. 2016. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.031

[6] SOUCHEA, J. C.; Bendimerad, A. Z.; Roziere, E.; Salgues, M.; Devillers, P.; Diaz, E. G.; Loukili, A. Early age behaviour of recycled concrete aggregates under normal and severe drying

conditions. **Journal of Building Engineering**, v. 13, p. 244-253, 31 ago 2017. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.jobe.2017.08.007

[7] ASLANI, F.; MA, G.; WAN, D. L. Y.; MUSELIN, G. Development of high-performance self-compacting concrete using waste recycled concrete aggregates and rubber granules. **Journal of Cleaner Production**, v. 182, p. 553–566, 1 mai 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.074

[8] ADAMS, M. P.; FU, T.; CABRERA, A. G.; MORALES, M.; IDEKER, J. H.; ISGOR, O. B. Cracking susceptibility of concrete made with coarse recycled concrete aggregates. **Construction and Building Materials**, v. 102, p. 802–810, 15 jan. 2016. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.11.022

[9] PEDRO, D.; DE BRITO, J.; EVANGELISTA, L. Mechanical characterization of high performance concrete prepared with recycled aggregates and silica fume from precast industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 164, p. 939–949, 15 out. 2017. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.249

[10] PICKEL, D.; TIGHE, S.; West, J. S. Assessing benefits of pre-soaked recycled concrete aggregate on variably cured concrete. **Construction and Building Materials**, v. 14, p. 245-252, 9 mar 2017. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.02.140

[11] NEVILLE, A. M. Propriedades do Concreto. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. 888p.

[12] EL-HAWARY, M.; AL-SULILY, A. Internal curing of recycled aggregates concrete. **Journal of Cleaner Production**, v. 275, 20 jul 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122911

[13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT **NBR 15116**: Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland — Requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2021.

[14] 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, 1 jun. 2016. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.jobe.2016.02.003

[15] KISKU, N. et al. A critical review and assessment for usage of recycled aggregate as sustainable construction material. **Construction and Building Materials**, v. 131, p. 721–740, 30 jan. 2017. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.11.029

[16] YILDIRIM, S. T.; MEYER, C.; HERFELLNER, S. Effects of internal curing on the strength, drying shrinkage and freeze-thaw resistance of concrete containing recycled concrete aggregates. **Construction and Building Materials**, v. 91, p. 288–296, 28 maio 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.05.045

[17] SILVA, S.; EVANGELISTA, L.; BRITO, J. Durability and shrinkage performance of concrete made with coarse multi-recycled concrete aggregates. **Construction and Building Materials**, v. 272, 22 fev. 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121645

[18] BRAVO, M.; BRITO, J.; EVANGELISTA, L.; PACHECO, J. Durability and shrinkage of concrete with CDW as recycled aggregates: Benefits from superplasticizer's incorporation and influence of CDW composition. **Construction and Building Materials**, v. 168, p. 818–830, 20 abr. 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.02.176

[19] MEDJIGBODO, S. et al. How do recycled concrete aggregates modify the shrinkage and self-healing properties? **Cement and Concrete Composites**, v. 86, p. 72–86, 1 fev. 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2017.11.003

[20] NEDELJKOVIĆ, M. et al. Use of fine recycled concrete aggregates in concrete: A critical review. **Journal of Building Engineering**, v. 38, 1 jun. 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102196

[21] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT **NBR 16974**: Agregado graúdo — Ensaio de abrasão Los Angeles. Rio de Janeiro, 2021.

[22] MAO, Y.; LIU, J.; SHI, C. Autogenous shrinkage and drying shrinkage of recycled aggregate concrete: A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 295, 1 maio 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126435

[23] AGHABAGLOU, A. M.; YÜKSEL, C.; BEGLARIGALE, A.; RAMYAR, K. Improving the mechanical and durability performance of recycled concrete aggregate-bearing mortar mixtures by using binary and ternary cementitious systems. **Construction and Building Materials**, v.196, p.295-306, 22 nov 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.124

[24] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **ABNT NBR 16889**: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 2020.

[25] PEDRO, D.; DE BRITO, J.; EVANGELISTA, L. Structural concrete with simultaneous incorporation of fine and coarse recycled concrete aggregates: Mechanical, durability and long-term properties. **Construction and Building Materials**, v. 154, p. 294–309, 15 nov. 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.215

[26] HE, Z.; HU, H.; CASANOVA, I.; LIANG, C.; DU, S.; Effect of shrinkage reducing admixture on creep of recycled aggregate concrete. **Construction and Building Materials**, v. 254, 28 abr 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119312

[27] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

[28] PACHECO, J. et al. Experimental investigation on the variability of the main mechanical properties of concrete produced with coarse recycled concrete aggregates. **Construction and Building Materials**, v. 201, p. 110–120, 20 mar. 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.200

[29] VINAY, K. B. M.; ANANTHAN, H.; BALAJI, K. V. A. Experimental studies on utilization of recycled coarse and fine aggregates in high performance concrete mixes. **Alexandria Engineering Journal**, v. 57, n. 3, p. 1749–1759, 1 set. 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aej.2017.05.003