



**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DO CONCRETO
COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL E INTEGRAL DOS AGREGADOS
GRAÚDOS POR RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO - RCD**

**ANALYSIS OF THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF
CONCRETE WITH PARTIAL AND FULL REPLACEMENT OF LARGE
AGGREGATE BY CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE - RCD**

Lucas Moura SILVA

Centro Universitário Tocantinenses Presidente Antônio Carlos (UNITPAC)

E-mail: luucasmouras@gmail.com

ORCID 0000-0001-5248-1609

Mateus Sousa Nogueira do NASCIMENTO

Centro Universitário Tocantinenses Presidente Antônio Carlos (UNITPAC)

E-mail: mateusnascimento122000@gmail.com

ORCID 0000-0001-5141-1975

Luiz Claudio Santos NEVES

Centro Universitário Tocantinenses Presidente Antônio Carlos (UNITPAC)

E-mail: luiznevessantos@icloud.com

ORCID 0000-0002-9013-2626

Daniele Gomes CARVALHO

Centro Universitário Tocantinenses Presidente Antônio Carlos (UNITPAC)

E-mail: gomescarvalhodaniele@gmail.com

ORCID 0000-0002-9410-389X

RESUMO

O desenvolvimento social e a modernização das cidades exigiram a necessidade de inovações tecnológicas e criação de novos materiais para suprir a demanda, uma vez que os existentes não eram mais capazes de resistir as cargas solicitadas sem passar por beneficiamento. Diante disso, deu-se origem aos materiais compósitos, os quais são formados a partir de dois ou mais materiais distintos, dos quais destaca-se o concreto que é amplamente consumido no mundo, segundo relatos da FIHP. À medida que seu consumo aumenta, a quantidade de resíduos gerados pelo setor construtivo também avança. Segundo dados da ABRELPE, a geração de RSU no Brasil em 2020 fora de 82.477.300 t/ano, do qual 46.997.400 t/ano é proveniente do setor da construção, sendo cerca de 221,19 kg de RCD produzido por habitante ao ano. Neste

Lucas Moura SILVA; Mateus Sousa Nogueira do NASCIMENTO; Luiz Claudio Santos NEVES; Daniele Gomes CARVALHO. ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DO CONCRETO COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL E INTEGRAL DOS AGREGADOS GRAÚDOS POR RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO - RCD. JNT Facit Business and Technology Journal. QUALIS B1. 2023. FLUXO CONTÍNUO - MÊS DE MAIO. Ed. 42. VOL. 2. Págs. 783-804. ISSN: 2526-4281 <http://revistas.faculdadefacit.edu.br>. E-mail: jnt@faculdadefacit.edu.br.

sentido, o estudo objetiva analisar as implicações geradas nas propriedades mecânicas e na trabalhabilidade do concreto, quando incorporados e substituído o agregado convencional por RCD. Espera-se que com as substituições do agregado convencional pelo material proveniente de processos de reciclagem forneçam um concreto com resistência mínima necessária para fins estruturais, conforme aponta a NBR 6118.

Palavras-Chave: Propriedades Físicas e Mecânicas. Concreto Reciclado. RCD. Substituição.

ABSTRACT

Social development and the modernization of cities required technological innovation and the creation of new materials to meet the demand, since the existing ones were no longer capable of withstanding the requested loads without going through processing. In view of this, composite materials were created, which are formed from two or more different materials, of which concrete stands out, which is widely consumed in the world, according to FIHP reports. As its consumption increases, the amount of waste generated by the construction sector also increases. According to data from ABRELPE, the generation of urban solid waste in Brazil in 2020 is 82,477,300 tons per year, of which 46,997,400 tons per year comes from the construction sector, with about 221.19 kg of CDW produced by inhabitant per year. In this sense, the study aims to analyze the implications generated in the mechanical properties and in the workability of the concrete, when incorporating and replacing the conventional aggregate by CDW. It is expected that with the replacement of conventional aggregate by material from recycling processes, it will provide concrete with the minimum strength required for structural purposes, as indicated by NBR 6118.

Keywords: Physical and Mechanical Properties. Recycled Concrete. CDW. Replacement.

INTRODUÇÃO

A natureza é por sua vez capaz de fornecer materiais aptos para resistir as cargas, quando solicitados por esforços mecânico. Sendo-os necessários para o desenvolvimento de nossas atividades.

A construção civil é, entretanto, ampla e heterogênea, incorporando em seus segmentos diversos outros que, concomitantemente, trabalham para transformar insumos em grandes construções. Por esse motivo, necessita-se de materiais que sejam aptos para as solicitações de cargas as quais são exigidas, cujo aqueles sem nenhum beneficiamento não são mais capazes de adequar-se à cadeia construtiva.

Dessa forma, por consequência das modernizações das sociedades e das cidades e os avanços na tecnologia e ciência dos materiais, criou-se a demanda por produtos com capacidade de resistir a maiores esforços, adaptando-se as novas exigências e aplicações.

Diante disso, os materiais extraídos da natureza e utilizados sem nenhum beneficiamento já não eram mais capazes de suprir todas as necessidades. Desse modo, desenvolveu-se os materiais compósitos que, segundo Callister (2012), são aqueles materiais formados por dois (ou mais) produtos individuais, cujo não se enquadra nas categorias convencionais.

Graças a essas combinações é possível obter um novo produto com características distintas, não sendo possível encontrá-las isoladamente. Assim, destacamos o concreto, material compósito originado a partir da aglomeração de cimento, agregados miúdo e graúdo e água.

Ao final do processo de cura, o concreto adquire resistência e características cerâmicas. No entanto, apesar de possuir essas características, resiste pouco aos esforços de tração. Apresentando altíssimas aplicabilidades devido a variação de resistência à compressão, a qual é modificada alterando os componentes de fabricação e o traço. Por esse motivo, ele apresenta-se como o segundo material mais consumido no mundo.

Conforme a *Federación Iberoamericana de Hormigón Premesclado* (FIHP), são consumidos anualmente cerca de 11 bilhões de toneladas do material. Fato dado a

informação supracitada e a sua trabalhabilidade e capacidade de ser moldado pelo homem a sua inventividade.

Não obstante, apesar dos avanços e dos benefícios da empregabilidade do concreto, proveniente de alta aplicabilidade no universo da construção civil, ele gera consigo altos impactos ambientais, devido a extração de matérias prima para sua composição e pela geração de resíduos pelos processos construtivos e de demolição. Segundo aponta Bispo, Saito e Gamino (2019), a Federação Brasileira registrou taxas elevadas de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) gerados a partir da indústria da construção civil, sendo responsável, conforme os autores supracitados, por cerca de 50% do RSU gerados no Estado.

Nesta perspectiva, a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE (2021), relata que a geração de RSU no Brasil em 2020 fora de 82.477.300 t/ano, do qual 46.997.400 t/ano é proveniente do setor da construção, sendo cerca de 221,19 kg de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) produzido por habitante ao ano. No entanto, tais dados, segundo aponta a Associação, ainda é discrepante da realidade, pois muitos dos resíduos ainda não têm uma destinação final adequada ou sistema para coleta, discernindo assim na quantidade real produzida de rejeito. Diante disso, a destinação incorreta desses produtos resulta em grandes impactos ambientais.

Sendo assim, em busca de formas para mitigar suas consequências, diversos estudos buscaram alternativas de empregar os rejeitos gerados pela indústria construtiva à sua própria cadeia de produção antes de descartá-los. Tais como em substituição à agregados graúdos e miúdos incorporados ao concreto, material para aterro e afins. Dando assim valia aos resíduos que anteriormente seriam descartados, reduzindo o volume de RCD direcionados aos aterros ou para locais inapropriados.

Nesse contexto, devido a infinidade de aplicações do concreto dentro da indústria da construção civil, ao alto consumo e custo econômico do aglomerante hidráulico (cimento), busca-se então por agregados que sejam inertes e que exerçam a função de preenchimento dos moldes de concreto, garantindo propriedades semelhantes ou superiores aos dos agregados convencionais, uma vez que esses ocupam parte considerável dentro do corpo de concreto.

Diante das implicações relacionadas ao setor construtivo e a gama de resíduos gerados por esse, o presente estudo busca analisar as implicações geradas nas propriedades mecânicas e na trabalhabilidade do concreto, quando incorporados e substituído o agregado convencional por material proveniente de processos de reciclagem. Realizando-se para tanto as caracterizações dos materiais convencionais e reciclados que serão adicionados a mistura.

Devido a infinidade de aplicações do concreto na indústria da construção civil, seu alto consumo e o alto custo econômico do aglomerante hidráulica (cimento), busca-se então por agregados que sejam inertes e que exerçam a função de preenchimento da peça de concreto garantindo propriedades semelhantes ou superiores aos dos agregados convencionais, uma vez que esses ocupam cerca de 75% da peça. Desta forma, o projeto busca analisar os efeitos da substituição do agregado graúdo por RCD, bem como os impactos dessa sobre as propriedades mecânicas do concreto, usando para tanto a especificações da NBR 5739 (2018) Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos e NBR 7222 (ABNT, 2011) Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.

OBJETIVOS

Objetivos Geral

Analisar os efeitos da substituição parcial e integral do agregado graúdo no concreto convencional resíduos de construção e demolição (RCD).

Objetivos Específicos

- Analisar à resistência a tração por compressão axial e diametral após as substituições;
- Utilizar resíduos de construção e demolição Classe A;
- Analisar a trabalhabilidade do concreto após as substituições.

REFERENCIAL TEÓRICO

Materiais Compósitos: Concreto

Lucas Moura SILVA; Mateus Sousa Nogueira do NASCIMENTO; Luiz Claudio Santos NEVES; Daniele Gomes CARVALHO. ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DO CONCRETO COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL E INTEGRAL DOS AGREGADOS GRAÚDOS POR RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO – RCD. JNT Facit Business and Technology Journal. QUALIS B1. 2023. FLUXO CONTÍNUO – MÊS DE MAIO. Ed. 42. VOL. 2. Págs. 783-804. ISSN: 2526-4281 <http://revistas.faculdadefacit.edu.br>. E-mail: jnt@faculdadefacit.edu.br.

Os compósitos são considerados um material multifásico que possui proporção significativa de suas propriedades derivadas das fases constituintes, chamando-se princípio da ação combinada, na qual obtém-se uma combinação de melhor propriedade, segundo Callister (2012).

O surgimento dos compósitos como uma classe de materiais distinta decorreu-se na metade do século XX, diante da fabricação de compósitos multifásicos, como os polímeros reforçados com fibras de vidro. Apesar de diversos materiais multifásicos serem reconhecidos, como tijolos de argilas reforçada e ligas de aços, o desenvolvimento dessa classe de materiais combinados durante o processo de fabricação forneceu oportunidades para variadas combinações de propriedades resultando em novos produtos (CALLISTER, 2012).

Muitos dos materiais compósitos são bifásicos, que são denominadas fase matriz e dispersa. Segundo Neville (2013), na primeira fase o material possui uma matriz contínua constituída por uma fase elástica com alto módulo de elasticidade e partículas de menor módulo dispersas, nomeado compósito ideal duro. Enquanto a outra é constituído por partículas elásticas com alto módulo de elasticidade, dispersa em uma matriz contínua com módulo mais baixo, nomeado material ideal macio.

O concreto é um exemplo de material compósito que, segundo Callister (2012, p. 539) “consiste em um agregado de partículas ligadas umas às outras em um corpo sólido por algum tipo de meio de ligação, ou seja, um cimento”. O autor também cita os dois tipos de concreto mais familiares que são aqueles provenientes dos cimentos Portland, que é empregado como material estrutural de construção, e o asfáltico, que é utilizado principalmente para pavimentação.

Neville (2013) define o concreto como “qualquer produto ou massa produzido a partir do uso de um meio cimentante”, sendo esse meio é resultante da reação entre um cimento hidráulico e água. Há, também, vários tipos de cimentos que podem produzir o concreto e o uso de adições como pozolanas, escória de alto-forno, sílica ativa, adições minerais, agregados de concreto reciclado dentre outros.

Os agregados constituintes são as partículas de brita e areia fina, denominados graúdos e miúdos respectivamente. Callister (2012) aponta que sua atuação reduz o custo na produção do concreto, devido ser de valor mais acessível e ocupar entre 60%

e 80% do volume total. Enquanto o cimento é relativamente caro. A proporção correta dos componentes e a mistura completa é fundamental para o concreto atingir uma ótima resistência e operacionalidade. A pasta cimento-água deve ter uma quantidade suficiente para cobrir os agregados, uma vez que a água também deve possuir a quantidade suficiente para fazer a ligação entre o cimento e as partículas dos agregados. Como exemplo, a água em grande quantidade pode resultar em excesso de porosidade e em pouca quantidade a mistura incompleta, ambos interferindo negativamente na resistência final do concreto.

Neste sentido, aponta-se que a relação água/cimento implica diretamente sobre as propriedades do concreto, tanto nos aspectos mecânicos quanto em sua trabalhabilidade. Neville e Brooks (2013) relatam que existem implicações direta sobre a qualidade do concreto, no qual relaciona-se a quantidade de água de amassamento utilizada e no grau de adensamento da mistura, uma vez que a presença de ar nos interstícios da mistura, podem resultar em pontos de maior fragilidade, sendo suscetível assim a fraturas devido as solicitações mecânicas.

Além das implicações supracitadas, as propriedades e características físicas dos agregados utilizados inferem explicitamente na qualidade do produto gerado. Sabe-se, conforme aponta Neville (2013), que agregados com densidade menor que $2,6 \text{ g/cm}^3$ resulta na produção de um concreto denominado leve. Exemplifica-se aqueles produzidos provenientes de RCD classe A, uma vez que possuem quantidade elevada de poros e uma maior presença de ar dentro dos seus vazios, diminuindo dessa maneira sua massa específica, no qual distingue-se assim do concreto tradicional, e devido a isso gera implicações negativas, tal como redução na resistência do concreto.

Cimento Portland

Para a produção do concreto é necessário o uso de um meio cimentante hidráulico que, decorrente a adição de água, ocorre o processo de endurecimento. Segundo Neville (2016), os antigos romanos foram os primeiros a utilizarem um concreto baseado em um cimento hidráulico, denominando cimento romano, na qual contribuiu no reconhecimento do concreto como material de construção.

No desenvolvimento do cimento, o inglês John Smeaton, em 1976, conseguiu por meio de calcinação de calcários moles e argilosos alcançar um produto de alta resistência. A mistura desses componentes, também, fora comprovada em 1818, pelo francês Vicat, cujo alcançou os mesmos resultados que Smeaton (ABCP, 2020).

Somente em 1924, após o desuso do cimento romano, o cimento Portland foi patenteado pelo construtor Joseph Aspdin. Deu-se esse nome devido o material apresentar cor e propriedades de durabilidade e solidez similar às rochas da ilha britânica de Portland (NEVILLE, 2016; ABCP, 2020).

Produzido por meio da mistura de calcário, argila ou outros materiais silicosos, alumina e materiais que possuem óxido de ferro, o cimento Portland é resultante da moagem dessas matérias-primas com proporções predeterminadas que se transformam em um pó muito fino. Após o processo de moagem, o pó é levado ao forno com temperatura aproximadamente de 1400°C, na qual ocorre a queima, sinterização e a fusão parcial em formato de clínquer. Após ser resfriado, o material recebe adição de gipsita (sulfato de cálcio) e em seguida é moído novamente, resultando no cimento Portland (NEVILLE, 2016).

Água de Amassamento

A água é um dos componentes fundamentais na composição do concreto, haja vista que cumpre o papel de unir por meio de um agente ligante os elementos constituintes para a confecção. Dessa forma, destaca-se os diversos efeitos benéficos, ou não, que a água pode conferir ao concreto, visto que a relação água/cimento, qualidade da água de amassamento e demais impactam significativamente no tempo de vida útil do concreto.

Segundo Neville (2016), a qualidade da água é de suma importância, pois as impurezas contidas podem, por sua vez, intervir no tempo de pega do cimento, impactar negativamente na resistência mecânica do concreto ou ainda causar manchas nas superfícies das estruturas armadas e, conseqüentemente, devido à presença de cloretos causar oxidação e corrosão das armaduras.

Em estudo realizado por Silva (2018) apontou-se que a qualidade da água de amassamento afeta não somente o tempo de pega e a resistência das peças, mas também influencia na exsudação, fluência, retração, RAA – reação álcali-agregado,

carbonatação e penetração de sais na estrutura. Sendo recomendado pelas normativas vigentes, águas com qualidade semelhante à potável.

Conforme a autora supracitada, na Federação Brasileira a água destinada a produção do concreto é normatizada pela NBR 15.900 de 2009, na qual especifica os requisitos mínimos necessários para que possa ser considerada adequada para utilização no traço de concreto, apresentando os limites e os parâmetros que devem ser levados em consideração.

Agregados

A literatura aponta que os agregados utilizados para dosagem do traço de concreto não devem reagir diante dos diversos processos que ocorrem ao longo do enrijecimento das peças moldadas, isto é, que sejam inertes. Para Mehta e Monteiro (2006) os agregados usados no concreto são relativamente mais baratos e não participam das reações químicas que ocorrem entre o aglomerante hidráulico e a água, embora suas características impactem diretamente sobre as propriedades e resistência dele.

Para Neville e Brooks (2013) inicialmente os agregados eram relatados como materiais inertes, com baixo custo, sendo distribuído ao longo da pasta de cimento gerando conseqüentemente um maior volume de concreto. No entanto, observou-se que as propriedades físicas, térmicas e químicas podem por sua vez influenciar no desempenho do concreto gerado, podendo assim resultar em um material de maior ou menor durabilidade em relação as pastas de cimento.

Além dos fatores citados que interferem sobre as características e desempenho do concreto, Neville e Brooks (2013) relatam que os agregados naturais originados a partir de processos de intemperismo, britagem ou por abrasão, tem dependência de suas propriedades atreladas sobre as características da rocha-mãe. Conquanto, algumas sejam inexistentes na rocha-mãe, tal como forma, dimensão, textura superficial e absorção, embora todas exerçam impacto na qualidade do concreto fresco e endurecido.

Mehta e Monteiro (2006) também expõem que as características inerentes a cada tipo de agregado utilizado estão intrinsecamente relacionadas com o processo de formação da rocha-mãe que a derivou, bem como os aspectos geológicos e a sua

mineralogia, a qual impacta sobre suas propriedades. Sendo a porosidade, distribuição de vazios, textura, módulo de elasticidade, presença de componentes nocivos para o concreto gerados pelos processos de formação da rocha original.

Sabe-se que as diversas propriedades físicas dos agregados devem ser levadas para caracterização do comportamento no concreto e para as propriedades do concreto produzido com esses agregados, tal como massa específica e unitária, absorção, porosidade entre outras. Neville (2016) explana que a massa específica do concreto pode ser reduzida ou aumentada dependendo dos materiais utilizados para dosagem, agregados com alta porosidade ocasiona uma baixa massa específica devido à presença de ar nos interstícios do agregado, podendo esses serem provenientes de materiais naturais ou advindos de processos de reciclagem.

Resolução Conama nº 307 e Resíduos de Construção e Demolição (RCD)

O setor construtivo é um dos principais responsáveis pela degradação ambiental, quer seja de maneira indireta – extração de matéria-prima, ou direta por intermédio da geração de resíduos. No estudo realizado por Brasileiro e Matos (2015) relatam que essa atividade é uma das mais antigas da humanidade, sendo realizada inicialmente por meio de artesanato, o qual gerava uma grande gama de subprodutos e resíduos, os quais não possuíam tratamento dado ao baixo conhecimento da época. Conforme demonstra Miranda, Angulo e Careli (2009), os primeiros estudos científicos realizados envolvendo os produtos gerados pelas atividades construtivas, só iniciaram em “Pinto (1986) em argamassas, Bodi (1997) em pavimentos, Levy (1997) em argamassas e Zordan (1997) em concretos” (p. 58, 2009).

Nesse sentido, Tessaro, Sá e Scremin (2012) explanam que esse campo constitui uma das áreas de maior importância para o desenvolvimento econômico e social, sendo reforçado por Brasileiro e Matos (2015). Segundo estes, apesar do setor ter significativo valor para economia, apresenta-se como um dos principais agentes degradadores do meio ambiente, uma vez que a cadeia produtiva da construção civil consome cerca de 20 a 50% dos recursos do planeta e devido a extração de materiais inertes, tais como cascalho e areias acabam por modificar significativamente a paisagem e os perfis hídricos.

Apesar do setor construtivo ter significância econômica e ser um dos geradores de resíduos, os autores supracitados afirmam que até o ano de 2002 no país não possuíam mecanismo que definisse medidas para o correto tratamento dos RCD, sendo estabelecido somente após a ratificação da Resolução CONAMA nº 307. Uma vez que, tanto no processo de beneficiamento dos materiais quanto nos subsequentes são gerados resíduos, estes que são definidos conforme a Resolução CONAMA nº 307 de 2002 como sendo materiais provenientes de “construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil”.

Assim, segundo o Art. 3º, os resíduos deverão ser classificados por classes, conforme expresso no Quadro 1.

QUADRO 1 Classificação dos Resíduos de Construção e Demolição

Classe A	São os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: componentes cerâmicos, reparos de pavimentos, infraestruturas, terraplanagem, fabricação ou demolição de pré-moldados.
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.

Fonte: Ministério do Meio Ambiente (MMA), adaptado da Resolução CONAMA nº 307 de 2002.

Miranda, Angulo e Careli (2009), afirmam que devido a quantidade de resíduos gerados pela indústria construtiva, há a necessidade de reciclagem dado o impacto ambiental causado, os quais podem ser atenuados com o processo de reciclagem e reutilização. Cujas Resoluções nº 307 afirma que os resíduos de Classe A deverão ser reciclados ou armazenados em forma de agregados em aterro para posterior reutilização e os Classe B assim como aquele deve ser reciclado ou reutilizado, embora o seu armazenamento seja temporário. Embora Tessaro, Sá e Scremin (2012)

destacam que apesar do estabelecimento de normativas, existem poucos ou nenhum mecanismo que vise a diminuição da geração dos resíduos em sua fonte.

No estudo realizado pelos autores, destacam a possibilidade de reaproveitamento dos RCD em diversos dos campos da engenharia, tais como reutilização do agregado reciclado como material para aterramento. Além dessa utilização, eles ainda podem ser utilizados conforme destaca Kartam (2004 *apud* TESSARO, SÁ e SCREMIN, 2012) como agregado para concreto de baixa resistência. Segundo os mesmos a reciclagem apresenta vantagens econômicas, uma vez que o descarte irregular gera um custo elevado para administração pública.

A Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE aponta que, anualmente são produzidos 221,19 kg/hab de RCD, embora divirja-se em relação a real quantidade produzida, posto que muitos desses materiais não são destinados para locais adequados, cujo eleva os gastos para à administração pública, cerca de três a cinco vezes maior do que seria para investimento e o custo das soluções corretas (ABRELPE, 2020).

Nesta forma, conforme a resolução CONAMA nº 307/22 classifica os resíduos em quatro classes supracitadas, no qual os rejeitos de origem do RCD se enquadram como classe A, devendo conforme explicitado pela normativa deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados ou encaminhados a aterro de resíduos classe A para reserva de material para usos futuros.

Nesse sentido, Silva e Melo (2021) relatam sobre a possibilidade desse resíduo ser utilizado como material para concreto, podendo ser graúdo ou miúdo. Ainda, nesta mesma perspectiva, o uso desses materiais reciclados ajuda na redução dos impactos ambientais, uma vez que os recursos naturais são extraídos em grande quantidade para atender o setor da construção civil. Diante do consumo elevado dos recursos naturais e levando em consideração a alta taxa de geração de RCD, buscaram-se alternativas sustentáveis para minimizar essa problemática.

METODOLOGIA

O presente estudo objetiva realizar uma análise a respeito dos efeitos da substituição do agregado graúdo de peças de concreto por Resíduos de Construção e Demolição (RCD), sendo tais rejeitos gerados por obras de construção e reformas na

indústria construtiva. Neste sentido, busca-se então por alternativas de reutilização e reciclagem, estabelecendo assim consonância com a Resolução CONAMA nº 307.

Logo, para verificação da viabilidade técnica da substituição dos agregados por produtos reciclados, cujo será incorporado a mistura e substituído o agregado convencional por RCD – Classe A, prossegue-se a análise por intermédio das NBR 5739 (ABNT, 2018) Concreto — Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos e NBR 7222 (ABNT, 2011) Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Ambos com a finalidade de determinar a resistência das peças de concreto a esforços mecânicos.

Para efetuar a caracterização dos agregados graúdos e miúdos, será feita valia das especificações técnicas contidas nas normativas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, sendo-as:

- NBR 7211 – Agregados para Concreto – Especificação;
- NBR NM 248 – Agregados – Determinação da composição granulométrica;
- NBR NM 67 – Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone;
- NBR NM 53 – Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água;
- NBR NM 52 – Agregado miúdo – Determinação de massa específica e massa específica aparente;
- NBR NM 45 – Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios.

Devido ao material utilizado para substituição do agregado graúdo ser proveniente de material destinado a reciclagem e possuir dimensões elevadas, será necessário a utilização de um britador de mandíbulas para efetuar o processo de britagem do material, nas dimensões de 4,8 a 9,5 mm (Brita 0) e 9,5 a 19mm (Brita 1) e, posteriormente, a remoção das impurezas superficiais. A escolha da variabilidade das dimensões dos componentes graúdos utilizados, se faz devido a necessidade de preenchimento de uma maior quantidade de vazios existente dentro das peças que

serão moldadas e, conseqüentemente, a redução da quantidade de aglomerante hidráulico necessário para dosagem do concreto.

A dosagem para o traço de concreto será mediante a utilização das especificações técnicas relatadas pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), no qual segundo os cálculos resultou-se nas proporções de 1:1,27:2,08:0,89:0,49, sendo um total de 2,98kg de agregado graúdo utilizado, dividido na proporção de 70/30 para brita 1 e 0, conforme especificado pela ABCP. Além do mais, irá ser considerado 30% de perda de material durante a rotação do traço, mas também, valerá do aditivo plastificante Plastol 4100® quando substituído integralmente a brita pelo RCD.

RESULTADOS

Diante dos procedimentos metodológicos utilizados, foi possível analisar os impactos sobre as características do concreto referência e desse com substituição parcial e integral dos agregados graúdos. À priori buscou-se pela caracterização do agregado convencional e do reciclado.

Desta maneira, pode-se encontrar as características físicas dos materiais utilizados, no qual têm-se dispostos, respectivamente, a massa específica e unitária dos componentes utilizados para moldagem dos CP. Por meio dos ensaios realizados, encontrou-se uma densidade específica e unitária para o agregado miúdo respectivamente em $2,25\text{g/cm}^3$ e $1,69\text{g/cm}^3$, enquanto para o agregado graúdo – brita 1, em $2,76\text{g/cm}^3$ e $1,51\text{g/cm}^3$, ao passo que para a brita 0, obteve-se $2,77\text{g/cm}^3$ e $1,49\text{g/cm}^3$. A baixa variabilidade entre massa específica da brita 1 e 0 pode ser atribuída a extração do material ser proveniente de uma única jazida.

Sabe-se que a densidade específica de um material, segundo a literatura, está diretamente intrínseca a sua composição tanto mineralógica, quanto ao arranjo interatômico dos minerais constituintes, e conseqüentemente a disposição dos vazios presente entre os grãos que originaram a rocha-mãe e posteriormente o agregado graúdo (NEVILLE, 2016).

Analisando as características físicas dos agregados graúdos usados tanto convencionalmente quanto em substituição, pode-se inferir que os convencionais apresentavam taxas insignificantes de absorção de água, fato esse característico dos

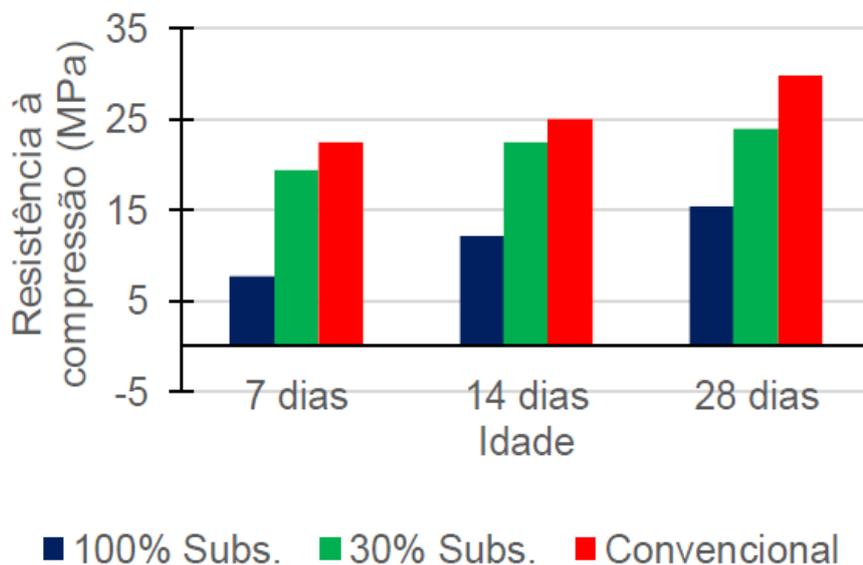
agregados graúdos, uma vez que esses não devem reagir durante o processo de hidratação e tampouco afetar a trabalhabilidade.

A absorção dos agregados graúdos utilizados em substituição estava na faixa de 17,06%, sendo tal característica atribuída a composição mineralógica desse agregado, pois conforme explanam Silva e Melo (2021), os agregados reciclados possuem um elevado índice de porosidade, impactando diretamente na taxa de absorção de água, a qual é uma característica indesejável para os agregados graúdos. Essa característica relacionada a porosidade, também se impacta nas demais características dos agregados, tais como: forma, densidade, textura, massa específica e unitária.

Além do mais, observou-se diante da substituição do agregado convencional pelo RCD que, o formato laminar impactou negativamente na trabalhabilidade do concreto, pois pelo abatimento de tronco de cone (NBR NM 67), teve-se redução considerável tanto na consistência, quanto na trabalhabilidade. Saindo de um slump 130 ± 10 para 70 ± 10 , sendo fator de suma importância para um bom lançamento, no qual necessita-se de um slump adequado. Tais contestações são evidenciadas na literatura de Silva e Melo (2021), cujo abordam que as características físicas dos agregados por terem formato lamelar causam a formação de planos de travamento entre a matriz cimentícia e o agregado, uma vez que esses agregados possuem uma área de contato relativamente maior, causando dissipação da energia mecânica pelo atrito entre as partículas.

Dessa maneira, mediante aos cálculos de dosagem estipulados pela ABCP, projetou-se um concreto com fck de 25 MPa aos 28 dias de cura. No entanto, em relação as características mecânicas do concreto referência e o com substituição, tivera divergência comparando-os. Fato esse exemplificado no gráfico de barras contidos na Figura 1.

Figura 1. Compressão axial para dos CP ensaiados.



Fonte: os autores (2023).

Posto isto, segundo a NBR 6118, o concreto moldado com utilização de CP I ou II, ao sétimo dia de cura, deve apresentar cerca de 78% da carga estipulada em projeto. Nesta perspectiva, conforme a análise gráfica da Figura 1, percebe-se que o concreto referência superou o exemplificado na literatura. Atingindo cerca de 22,45 MPa, correspondendo aproximadamente a 89,8%.

Ademais, o concreto com substituição de 30%, também, atingiu um valor satisfatório. Sendo esse valor de 19,36 MPa, equivalente a 77,44% comparado a especificação técnica. Enquanto o traço com substituição de 100% dos agregados alcançou apenas 7,74 MPa, aproximadamente equivalente a 30,96% de resistência.

Nesse aspecto, no estudo realizado por Maia (2021), duas situações foram apresentadas. Uma na qual o agregado reciclado superou o convencional e o outro que reduzira a resistência à solicitação dos esforços de compressão axial. Observando-se, neste estudo, apenas a redução.

Mantendo como base ainda a Figura 1, observa-se que o f_{cj} aos 28 dias para o concreto convencional foi superior ao f_{ck} de projeto, atingindo cerca de 29,80 MPa. No entanto, para o concreto composto por RCD, os resultados não foram satisfatórios. Possuindo resistência inferior a projetada, tendo por sua vez uma redução na taxa de

19,6% na resistência do concreto com substituição de 30% dos agregados graúdos. Enquanto na substituição de 100%, teve uma redução de 48,45%. Embora, percebe-se, pela análise da Figura 1, que o concreto com substituição parcial obteve um valor de aproximado de 24 MPa, apesar de ser inferior ao f_{ck} projetado, ainda se encontra acima de 20 MPa. Visto que é o valor mínimo em norma para ser considerado concreto de uso estrutural. Podendo tal resultado ser atribuído as características de um concreto leve, cujo resistência mínima é de 17 MPa (NEVILLE, 2016).

No entanto, a substituição integral do agregado convencional, por RCD, não alcançara o valor mínimo para fins estruturais. Resultando, ao fim do processo de cura, somente com uma resistência à compressão de 15,36 MPa, cerca de 23,2% abaixo do valor mínimo desejado.

Ratificando-se o exposto, conforme apresentado na pesquisa de Paiva, Batista e Farias (2021), no qual expõe que o concreto com substituição de agregado graúdo por material reciclado, proveniente de construção e demolição, acarreta a redução da resistência em 45% em relação ao de referência. Fato, também, observado na presente pesquisa.

A queda na resistência, conforme os autores supracitados, é atribuída a forma, textura e o processo de beneficiamento do material reciclado.

Seguindo o pensamento dos autores, devido o material reciclado ser oriundo de materiais argilosos, na qual as funções são dadas após o processo de queima, cujo as impurezas não são totalmente retiradas, resulta na formação de um material frágil. Dessa forma, apresentando uma enorme presença de vazios. Logo, isso implica diretamente na coesão, na homogeneidade e, por consequência, na resistência do concreto. Conforme fora comprovado na ruptura do CP com substituição integral dos agregados na Figura 2.

Figura 2. Ruptura do CP com material reciclado.



Fonte: os autores (2023).

Observando as Figuras 3 e 4, percebe-se que o concreto convencional apresentou maior linearidade na ruptura, sendo apresentado um tipo cônico. Enquanto o concreto com RCD não teve um comportamento previsível, possuindo rupturas cisalhadas, cônicas e tubulares. Tal fato pode ser erguido segundo a exposição dada em literatura. Pois, a formação de plano de travamento entre os agregados e a pasta de cimento, dificulta a transmissão do carregamento de maneira uniforme.

Figura 3. Compressão axial do CP – concreto convencional



Fonte: os autores (2023).

Figura 4. Compressão axial do CP – concreto reciclado



Fonte: os autores (2023).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos procedimentos metodológicos assinalados e os resultados obtidos, mediante aos ensaios em laboratório, credita-se que o baixo desempenho das peças de concreto moldadas com RCD, em 30% e 100%, em relação à referência pode ser atribuída há alguns fatores. Sendo eles: qualidade do material, porosidade, forma, dimensões, textura e resistência ao cisalhamento.

O formato lamelar dos agregados reciclados gera uma maior área de contato entre os constituintes. Resultando na diminuição da trabalhabilidade e criando pontos de fragilidade dentro do concreto em estado enrijecido. O que o torna a substituição, em 100% dos agregados, inadequados para ser utilizado como concreto destinado a funções estruturais.

Além disso, a enorme quantidade de poros presente no agregado dificulta o controle tecnológico para dosagem do traço. Pois a água destinada a hidratação acaba penetrando por capilaridade nos interstícios do agregado. Desse modo, ocorre a diminuição da resistência devido parte da água calculada ser absorvida pelo RCD. Isso ocasiona uma baixa hidratação do aglomerante hidráulico, embora seja amenizado quando deixando o RCD imerso em água por 24h, não havendo como comprovar se todos os poros são realmente preenchidos.

REFERÊNCIAS

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. 2021. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama-2021/>>. Acesso em: 5 abr. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**. Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova, Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**. Concreto - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos, Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**. Agregados para concreto – Especificação, Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**. Agregados – Determinação da composição granulométrica, Rio de Janeiro, 2022.

Lucas Moura SILVA; Mateus Sousa Nogueira do NASCIMENTO; Luiz Claudio Santos NEVES; Daniele Gomes CARVALHO. ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DO CONCRETO COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL E INTEGRAL DOS AGREGADOS GRAÚDOS POR RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO – RCD. JNT Facit Business and Technology Journal. QUALIS B1. 2023. FLUXO CONTÍNUO – MÊS DE MAIO. Ed. 42. VOL. 2. Págs. 783-804. ISSN: 2526-4281 <http://revistas.faculdefacit.edu.br>. E-mail: jnt@faculdefacit.edu.br.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**. Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios, Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**. Agregado miúdo – Determinação de massa específica e massa específica aparente, Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53**. Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água, Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67**. Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, Rio de Janeiro, 2020.

BISPO, Rodrigo Andraus; SAITO, Vinícius Keithy Higa; GAMINO, André Luís. Análise experimental da aplicabilidade do RCD de cerâmica vermelha em substituição ao agregado miúdo natural em concreto massa. **Revista Científica ANAP Brasil**, v. 12, n. 27, 2019. Disponível em: <https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/anap_brasil/article/view/37>. Acesso em: 5 abr. 2023.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. **Cerâmica**, [s.l.], v. 61, n. 358, p. 178-189, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132015613581860>>. Acesso em: 09 abr. 2023.

CALLISTER, Willian D. Jr.; RETHWISCH, David G. **Ciência e Engenharia de Materiais uma Introdução**. Diagrama Ação, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.

HIBBELER, Russell Charles. **Resistência dos materiais**. Pearson Prentice Hall, 7ª edição, São Paulo, 2010.

IBRACON. Concreto: material construtivo mais consumido no mundo. **Concreto e construções**. São Paulo, v. XXXVII, n. 53, p. 1-80, jan./Mar. 2009. Disponível em: <http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/revista_concreto_53.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2023.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concrete: Microstructure, properties and materials**. McGraw-Hill Companies, 3ª edição, New York, 2006.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 5 jul. 2002. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>. Acesso em: 14 mar. 2023.

Lucas Moura SILVA; Mateus Sousa Nogueira do NASCIMENTO; Luiz Claudio Santos NEVES; Daniele Gomes CARVALHO. ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DO CONCRETO COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL E INTEGRAL DOS AGREGADOS GRAÚDOS POR RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO – RCD. JNT Facit Business and Technology Journal. QUALIS B1. 2023. FLUXO CONTÍNUO – MÊS DE MAIO. Ed. 42. VOL. 2. Págs. 783-804. ISSN: 2526-4281 <http://revistas.faculadefacit.edu.br>. E-mail: jnt@faculadefacit.edu.br.

MIRANDA, Leonardo F. R.; ÂNGULO, Sérgio C.; CARELI, Élcio D. A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 1, p. 57-71, jan./mar. 2009. Disponível em: <<https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/7183>>. Acesso em: 05 abr. 2023.

NEVILLE, A. M. **Tecnologia do concreto**. Tradução: Ruy Alberto Cremonini. Bookman, 2ª edição, Porto Alegre, 2013.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. Tradução: Ruy Alberto Cremonini. Bookman, 5ª edição, Porto Alegre, 2016.

TESSARO, Alessandra B.; SÁ, Jocelito S.; SCREMIN, Lucas B. Quantificação e classificação dos resíduos procedentes da construção civil e demolição no município de Pelotas, RS. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 121-130, abr./jun. 2012. Disponível em: <<https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/20395>>. Acesso em: 06 abr. 2023.

VIANA NETO, Luís Antônio da Cunha; SALES, Angela Teresa Costa; SALES, Lucila Costa. Efeitos da variabilidade de agregados de RCD sobre o desempenho mecânico do concreto de cimento Portland. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 23, 2018. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rmat/a/R3RsZMTGMm69PSQY7PVbSWg/abstract/?lang=pt>>. Acesso em: 6 abr. 2023.