

Caracterização da resistência do concreto com adição de agregados de resíduos de obra na substituição ao agregado graúdo natural

Wilgner Felipe Macena de Souza; Lais Brito Melo; Gabriela Rodrigues de Souza; Daniele Santos Silva; Deivid Vandersa Santana Neves; Mariana Bruno dos Santos.

Orientador: Prof. Dr. Ernesto Silva Fortes

Resumo: Os concretos reciclados, assim chamados os concretos que possuem agregados provindos da reutilização de outros elementos, foram criados visando um melhor balanço ecológico e financeiro no mundo da construção civil. Segundo a Pesquisa Setorial de 2019/2020, realizada pela Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil (Abrecon), o Brasil gera em torno de 100 milhões de toneladas de resíduos por ano. Dado o fato de que o concreto é um dos materiais mais utilizados no mundo, a maior incorporação de agregados de resíduos de construção civil (RCC) certamente agregaria para um planeta mais sustentável. O trabalho teve como objetivo entender algumas das propriedades do concreto reciclado e realizar ainda uma comparação com o concreto tradicional, através de uma pesquisa experimental caracterizada pelos ensaios de abatimento de tronco de cone e massa específica em estado fresco e, em estado endurecido, resistência à compressão e absorção de água por capilaridade em corpos de prova cilíndricos e resistência à tração na flexão em corpos de prova prismáticos, em traços de concreto com a concentração de 0%, 30%, 70% e 100% de agregado de RCC. Além dos ensaios referentes ao concreto, foram feitos ensaios de caracterização dos agregados graúdos e miúdo, sendo obtido o teor de umidade e índice de materiais pulverulentos da areia, granulometria, massa específica e massa unitária de todos os agregados. Com base nos ensaios, o concreto com agregado de resíduo de construção civil obteve, de maneira geral, uma resistência maior do que o concreto com agregado comum. Este resultado possui uma relação direta com a maior absorção de água presente no agregado avaliado e o elevado fator água/cimento. Desta forma, a mistura entre os agregados ou a substituição completa de um pelo outro se mostra viável, a depender da utilização do concreto.

Palavras-chave: Agregado; Concreto; Reciclado; Substituição; Resistência.

Characterization of the strength of concrete with the addition of construction waste aggregates to replace natural coarse aggregate

Abstract: Recycled concrete, so-called concrete that contains aggregates from the reuse of other elements, was created with a view to improving the ecological and financial balance of the construction industry. According to the 2019/2020 Sector Survey carried out by the Brazilian Association for the Recycling of Construction Waste (Abrecon), Brazil generates around 100 million tons of waste a year. Given the fact that concrete is one of the most widely used materials in the world, the greater incorporation of aggregates from civil construction waste (CCW) would certainly contribute to a more sustainable planet. The aim of this study was to understand some of the properties of recycled concrete and to make a comparison with traditional concrete, through an experimental study characterized by slump test and specific mass tests in the fresh state and, in the hardened state, compressive strength and capillary water absorption in cylindrical specimens and flexural tensile strength in prismatic specimens, in concrete mixes with a concentration of 0%, 30%, 70% and 100% of CCW aggregate. In addition to the concrete tests, characterization tests were carried out on the coarse and fine aggregates, obtaining the moisture content and powdery material index of the sand, particle size, specific mass and unit mass of all the aggregates. Based on the tests, concrete with construction waste aggregate had, in general, a higher strength than concrete with ordinary aggregate. This result is directly related to the higher water absorption present in the aggregate evaluated and the high water/cement ratio. Therefore, mixing the aggregates or completely replacing one with the other is feasible, depending on the use of the concrete.

Keywords: Aggregate; Concrete; Recycled; Substitution; Resistance.

1. Introdução

Segundo a Abrecon (2022), a quantidade de resíduos na construção civil entre 2019 e 2020 teve seu maior volume na região sudeste do Brasil, com destaque para o estado de São Paulo e seu total de 23,1 toneladas por ano, sendo essa maior quantidade associada à maior densidade populacional. Essa geração acontece em todas as fases da edificação, desde sua construção propriamente dita, até eventuais reformas necessárias, segundo a pesquisa. O montante a nível nacional fez o valor de 106,20 t. O grande problema está na disposição destes resíduos quando não reciclados, feita em locais de utilização pública ou preservação, como margens de rios e córregos, terrenos afastados e em vias de tráfego (KARPINSKI *et al.*; 2009).

O setor de construção civil está passando por uma transformação marcante nos últimos anos, impulsionada por uma crescente preocupação ambiental e a busca por práticas sustentáveis. Neste contexto, o uso de concreto reciclado tem emergido como uma alternativa promissora. O emprego dos agregados reciclados no concreto representa um avanço notável na redução do impacto ambiental da construção e na promoção da sustentabilidade. Em contrapartida, a falta de domínio de suas propriedades faz com que esses agregados sejam considerados de baixa qualidade (GONÇALVES; 2001).

De acordo com Sousa (2011), em outras partes do mundo como na Europa e Japão, a utilização dos agregados reciclados é feita desde a Segunda Guerra Mundial. O autor concluiu, através de pesquisas, que esses agregados podem ser utilizados de maneira satisfatória em serviços de drenagem e pavimentos. É um grande desafio a reciclagem dos resíduos de construção civil por parte do próprio meio que a produziu, mas é uma solução que atinge resultados satisfatórios no que diz respeito ao consumo da matéria-prima e também ao descarte das sobras (HOOD; 2006).

Com base nos estudos existentes e de maneira a complementá-los, o trabalho visou a caracterização das resistências do concreto com adição de diferentes dosagens do agregado de RCC, demonstração das capacidades e limitações do produto

1.1. Justificativa

A má destinação dos resíduos de construção gerou e continua gerando impactos notáveis em meios urbanos, mais especificamente nas tratativas sanitárias, constatado o dano aos sistemas de drenagem e um ambiente favorável ao aumento de doenças. Junto a esses fatos, o comprometimento de cursos d'água e a obstrução do espaço físico disponível para os habitantes (OLIVEIRA *et al.*; 2020).

De todo o RCC produzido nacionalmente, apenas uma quantidade que variou de 15 a 20% (entre 2013 e 2020) foi reciclada, enquanto a capacidade produtiva das usinas responsáveis pela reciclagem correspondia, no ano de 2020, a 48% do montante total de resíduos produzidos no pico máximo (ABRECON; 2020). Esse grande percentual não reciclado ocorreu, dentre outros motivos, devido à falta de espaço para que órgãos responsáveis tratassem a respeito da questão ambiental, vista a prioridade à outras questões econômicas e sociais (ÂNGULO *et al.*; 2001).

Esta temática começou a ter mais notoriedade ao passo que a sociedade tornou-se mais consciente quanto ao descarte dos resíduos de obra e, conseqüentemente, mais consciente quanto ao meio ambiente (VIEIRA *et al.*; 2004).

A reciclagem de resíduos de construção dá um importante contributo para a proteção do meio ambiente, uma vez que prolonga o ciclo de vida do material. A reciclagem de resíduos para agregados na produção de concreto conserva as fontes naturais de agregados e reduz a necessidade de aterros sanitários, ao passo que reduz os volumes de descarte.

1.2. Objetivos

1.2.1. Geral

O trabalho teve como objetivo desenvolver um programa experimental onde corpos de prova de concreto com adição de resíduos de obra foram ensaiados à compressão axial, em comparação à corpos de prova de concreto sem adição.

1.2.2. Específico

O objetivo específico do trabalho foi caracterizar a resistência à compressão e tração na flexão em traços de concreto com os percentuais de 0, 30, 70 e 100% de agregado graúdo de RCC, através das seguintes práticas:

- Caracterização dos agregados graúdos (granulometria, massa unitária e específica) e miúdo (granulometria, massa unitária, específica, índice de materiais pulverulentos e teor de umidade);
- Abatimento de tronco de cone em todos os traços executados;
- Massa específica dos concretos em estado fresco;
- Resistência à compressão aos 7 e 28 dias de cura nos CP's (corpos de prova) cilíndricos;
- Resistência à tração na flexão aos 7 e 28 dias de cura nos CP's prismáticos;
- Absorção de água por capilaridade após 28 dias de cura em CP's cilíndricos.

2. Revisão bibliográfica

Neste tópico será apresentada a fundamentação teórica do estudo, com base em pesquisas direcionadas à sustentabilidade na construção civil voltada aos resíduos produzidos por ela, o comportamento do concreto com esses resíduos no que diz respeito à compressão e tração e, por fim, sua absorção de água.

2.1. Sustentabilidade

Segundo a resolução do Conselho Nacional do meio ambiente, Conama 307/2002, os resíduos são de diversos tipos, provindos de reformas, demolições e construções. Alguns dos elementos são: solos, tijolos, argamassa de concreto, que junto a outros materiais, compõem o que é usualmente denominado entulho (ou calça e metralha, a depender da região). Além disso, ainda segundo a resolução, os resíduos sólidos gerados em áreas urbanas têm grande parte de sua composição vinda da construção civil. Inclusive, a resolução do Conama 307/2002 afirmou ainda que o agregado reciclado possui aplicação válida em obras comuns e de infraestrutura, por exemplo, devidas suas características técnicas válidas para tais tarefas.

Este tipo de concreto é uma inovação tecnológica que ganha cada vez mais destaque na indústria da construção civil e sua introdução no mercado representa um avanço significativo na busca por soluções mais ecológicas e sustentáveis.

2.2. Resistência à compressão e tração do concreto reciclado

Um dos fatores de grande influência na resistência de um concreto é seu fator água/cimento (a/c). O fator água cimento é um dos maiores desafios para a produção de concreto com agregado reciclado (BAZUCO, 1999). Em um concreto com alto volume de água, sua resistência será menor. Porém, em concretos com a utilização de agregados de RCC, um baixo valor do fator a/c culminou em uma menor resistência, segundo estudos realizados por Vieira *et al.* (2004). As relações A/C maiores em concretos com agregados reciclado trouxeram melhoras para a zona de transição do concreto, o que resulta em uma melhor distribuição de cargas e conseqüentemente maior resistência (LEITE, 2001). Ainda segundo o primeiro autor, a utilização de um agregado reciclado provavelmente culminará em uma resistência à compressão menor do que a obtida na utilização de um agregado

natural, fato este atestado por Costa e Rios (2017), que ao substituírem totalmente o agregado graúdo comum pelo reciclado, obtiveram uma resistência 37,47 e 13,06% menores aos 7 e 14 dias respectivamente, quando comparadas à resistência do concreto de referência. As autoras destacam ainda, com base nos resultados, a possibilidade de utilização dos agregados reciclados em concretos estruturais, atentando-se aos percentuais de substituição.

Em contrapartida, a resistência à compressão se mostrou maior em concretos com agregado reciclado seco e cura submersa (que é o caso do presente trabalho) quando comparados ao concreto comum com o mesmo tipo de cura, segundo estudos de Souza et al. (2020). Aos 7 dias, os concretos reciclado e comum obtiveram a resistência média de 28,68 e 25,45 MPa respectivamente. Já aos 28 dias e seguindo a mesma ordem, as resistências foram de 26,91 e 33,78 MPa.

No caso da resistência à tração, a adição de agregados reciclados também culminou em uma diminuição, como estudado por Lana e Rodrigues (2018), ao ensaiarem corpos de prova cilíndricos ao rompimento diametral. Nas variações de 100 e 50% de agregado reciclado, os resultados aos 7 dias foram respectivamente 24 e 18% menores. Aos 14 dias e respectivamente às proporções de substituições, 28 e 18% menores quando comparadas ao concreto comum de referência. Os autores justificaram tal decréscimo com base na alta porosidade do agregado. Menezes e Sales (2019) também obtiveram resultados de resistência à tração e compressão menores nos concretos reciclados. Os autores atingiram as resistências à compressão de 28,49, 35,89 e 43,11 MPa para os concretos com 30, 50 e 0% de adição de agregados reciclados respectivamente. Na mesma ordem, porém para a tração na flexão, os resultados foram de 2,18, 2,70 e 4,18 MPa. Dado o fato de que houve um concreto com resistência à compressão maior do que 20 MPa, ambos afirmaram que concreto estudado poderia ser considerado estrutural. Entretanto, o comportamento de redução da resistência à tração ao passo que a concentração de agregado reciclado aumenta não é unânime. Damasceno *et al.* (2023) obteve a melhor resistência a este esforço no concreto com 30% de adição, resistência essa 14,10% maior que a obtida no concreto comum.

Salles *et al.* (2021), ao estudarem o comportamento do concreto com agregado reciclado misto sob os esforços de compressão e tração constataram que a resistência à compressão foi prejudicada em todas as substituições, quando comparadas à do concreto de referência. A substituição de 100% entre os agregados foi a que representou a maior perda no ensaio de compressão, de 49,98 para 37,09 MPa. Já no ensaio de tração, as adições não afetaram de maneira expressiva a resistência, sendo elas 3,06 e 2,96 MPa para o concreto comum e com 100% de agregado reciclado respectivamente. Vale ressaltar que os ensaios mencionados foram realizados após 28 dias de cura. Seabra e Campos (2020) associaram esse comportamento à baixa resistência e densidade do agregado ao também chegarem a resultados desta natureza. Em seus ensaios, foram executados traços com 0 (referência), 30 e 50% de substituição, sendo as resistências à compressão aos 28 dias de 17,50; 16,50 e 16,8 MPa respectivamente. Para tração e na mesma sequência de traço, os resultados foram de 2,60, 2,15 e 2,50 MPa.

Da mesma forma comportaram-se os concretos com adição de 10, 20, 50 e 100% de agregado reciclado nos estudos de Pelissari (2016). Ao serem aferidas as resistências à compressão, as diferenças para menor quando comparadas ao concreto de referência foram de 11,69; 12,41; 15,78 e 18,63%, na ordem crescente de adição do referido agregado. Para a tração, as perdas foram de 8,04; 26,80; 36,26 e 37,76%.

Analisando-se às conclusões supracitadas, percebe-se que as resistências deste tipo de concreto não seguem um padrão definido, que não se trata de um comportamento uniforme (LEITE, 2001).

2.3. Absorção de água

A absorção de água está ligada à porosidade, sendo uma das muitas propriedades que são diretamente proporcionais (TENÓRIO; 2007). Visto isso, a variação da absorção de água é um resultado da variabilidade da porosidade do elemento. Evangelista e Brito (2010) encontraram uma absorção de água por capilaridade 46% maior do concreto com adição de agregado reciclado para o concreto comum, comportamento também aferido por Frotté *et al.* (2017), que mencionou também a redução da trabalhabilidade do concreto. A trabalhabilidade do concreto está diretamente relacionada à quantidade de água presente na mistura. Costa *et al.* (2019) atribuiu a maior absorção de água à maior porosidade dos agregados de RCC.

As grandes variações de absorção dos agregados reciclados é uma dificuldade encontrada para a determinação da quantidade de água para a hidratação do cimento, já que, principalmente no início do processo e considerando que os poros não estejam saturados, os agregados tendem a absorver mais água, prejudicando, portanto, a definição da dosagem de água, afirmação realizada por Bazuco (1999). Superestimar esta propriedade no momento de execução do traço (e conseqüentemente aumentar a quantidade de água) faz com que o concreto ganhe uma maior trabalhabilidade, porém, perca propriedades mecânicas (JOSEPH *et al.*; 2015).

3. Materiais e métodos

O trabalho consistiu-se por uma pesquisa experimental, que segundo Gil (2002, p. 47) “consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto”. Foi traçada uma linha de ensaios para que fossem verificadas primeiramente as características dos agregados miúdo, grúdo natural e grúdo reciclado. Em segundo lugar, o intuito foi analisar o comportamento do concreto em estado fresco e endurecido com substituições progressivas de um agregado grúdo pelo outro. Os ensaios (a serem discorridos) foram feitos com base nas normas vigentes a cada um, explicitas no decorrer do artigo.

Para execução dos ensaios, foram utilizados materiais fornecidos pelo próprio laboratório, com a exceção do cimento. Tais itens são mostrados nas figuras de 1 a 10 a seguir.

Figura 1: areia lavada e caixote de madeira impermeável



Figura 2: brita comum e caixote de madeira impermeável



Figura 3: brita de RCC e caixote de madeira impermeável



Figura 4: cimento Votoran Portland CII-F-32



Figura 5: moldes cilíndricos juntos ao desmoldante



Figura 6: moldes prismáticos



Figura 7: equipamentos para Slump Test



Figura 8: recipiente cilíndrico para massa específica do concreto



Figura 9: conjunto de peneiras da série Tyler



Figura 10: frascos de Chapman e provetas



Fonte: do próprio autor

Foram utilizados também elementos auxiliares, como colher de pedreiro e de concreto e martelo de borracha.

Anterior a todos os ensaios, houve etapa de preparação, que consiste em suma na separação dos materiais necessários, bem como a pesagem dos elementos constituintes do concreto a serem utilizados. Todos os ensaios a serem descritos foram executados no Laboratório de Materiais de Construção Civil do Campus Butantã da Universidade São Judas Tadeu, com todo o apoio e direcionamento do responsável pelo espaço Renato Gluber Candido Prates.

Para caracterização dos agregados, houve ensaios pré-definidos com base nas necessidades do estudo e também nas limitações do laboratório. As caracterizações foram: teor de umidade do agregado miúdo, índice de materiais pulverulentos, granulometria, massa específica e unitária. As caracterizações foram executadas levando em consideração as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

O ensaio para determinação do teor de umidade do agregado miúdo contou com quatro amostras de 500g do agregado em condições ambientes (umidade e temperatura), sendo duas para o método da secagem em estufa durante 24 horas a $(105\pm 5)^{\circ}\text{C}$ e as outras duas para o método da secagem em chapa aquecida, durante 10 minutos. Para a determinação do teor de umidade, faz-se o uso da equação proposta, onde “H” dá-se pelo teor de umidade, “M1” refere-se à massa inicial da amostra e “M2”, à massa final.

$$H = \frac{(M1-M2)}{M2} \times 100 \text{ (Equação 1)}$$

A determinação do índice de materiais pulverulentos ocorreu aos moldes da ABNT NBR 16973:2021, sendo estudadas duas amostras de 300g de areia. Este valor de massa foi escolhido pelo fato da dimensão máxima nominal do agregado, obtida através do ensaio de granulometria, ter sido de 2,36 mm. Através da fórmula a seguir, encontraram-se os índices, onde “M_p” corresponde ao próprio índice, “m_s” a massa seca inicial e “m_f” a massa seca final, após a lavagem.

$$M_p = \left(\frac{m_s - m_f}{m_s} \right) \times 100 \text{ (Equação 2)}$$

No ensaio de granulometria, tanto do agregado miúdo quanto do graúdo (natural e de RCC), foram ensaiadas duas amostras de material. O ensaio foi feito com base nas diretrizes estabelecidas na ABNT NBR 17054:2022 e, a partir disso, tornou-se possível a determinação dos diâmetros máximo característicos, módulos de finura e por consequente, o real tipo de agregado que estava sendo utilizado. Tanto as peneiras quanto o agitador eletromecânico utilizado eram da marca Solotest, sendo as peneiras pertencentes à série Tyler. O agregado graúdo utilizado, em ambos os tipos, possuía a britagem informada como 1. Agregados de britagem nº 1 possuem uma dimensão nominal entre 9,5 e 19,0 mm. Segundo a ABNT NBR 17054:2022, para agregados com dimensão máxima de 9,5 mm, a amostra de ensaio deve ser de 1 kg, 12,5 mm deve ser 2 kg e 19,0 mm 5 kg. No caso dos agregados utilizados no estudo, a dimensão máxima se enquadra nos 19,0 mm, o que levaria ao grupo a ensaiar 5 kg de brita. Porém, foram ensaiadas duas amostras para cada tipo de brita com 1 kg cada. Para o agregado miúdo, foram ensaiadas duas amostras, sendo uma com 500,6 g e a outra com 500,9 g.

Para determinar a massa específica dos agregados, foram aplicadas as técnicas descritas na ABNT NBR 16916:2021 e ABNT NBR 16917:2021, com a exceção de que foi utilizado o frasco de Chapman ao invés do picnômetro para o agregado miúdo e a proveta para o agregado graúdo, dada a disponibilidade de instrumentos no laboratório. Os resultados obtidos no picnômetro e no frasco de Chapman possuem valores muito próximos, podendo um ser substituído pelo outro. Foram utilizadas duas amostras de 500 g de agregado miúdo, duas amostras de 1000 g de agregado comum e duas de mesma

massa de agregado de RCC. Tendo os volumes de água iniciais e finais após imersão dos agregados, utilizou-se a expressão a seguir para obtenção dos valores de massa específica, onde “ μ ” refere-se à massa específica, “ M ” à massa inicial de cada amostra e “ V ” à variação de volume da água após imersão dos elementos (volume dos agregados).

$$\mu = \frac{M}{V} \text{ (Equação 3)}$$

Para que fossem obtidas as massas unitárias desses agregados, foi utilizado o caixote de madeira impermeabilizada, nos quais ensaiaram-se duas amostras de cada agregado. De posse da massa e volume do recipiente e de sua massa com cada agregado e utilizando a expressão matemática explícita a seguir, onde “ M_u ” representa a massa unitária, “ m_a ” a massa do agregado com recipiente, “ m_r ” e “ V ” a massa e volume do recipiente respectivamente, foi possível obter o valor da massa unitária de cada material com base na ABNT NBR 16972:2021.

$$M_u = \frac{m_a - m_r}{V} \text{ (Equação 4)}$$

Finalizada a etapa de caracterização dos agregados, iniciou-se o preparo dos moldes para os corpos de prova de concreto. Os moldes utilizados no estudo eram de dois tipos: cilíndricos e prismáticos. Os moldes cilíndricos, confeccionados em material metálico, mediam $\varnothing 10 \times 20$ cm e eram dispostos de parafusos com porca do tipo borboleta devidamente ajustadas para evitar o vazamento de material. Os moldes prismáticos possuíam o mesmo material e forma construtiva e mediam $40 \times 10 \times 10$ cm. Todos foram montados e higienizados, para remoção de quaisquer resíduos provindos de outros ensaios. Após a limpeza, foi aplicado desmoldante conforme apresentado nas figuras 11 e 12, garantindo assim uma desforma satisfatória dos corpos de prova,

Figura 11 – Moldes cilíndricos



Fonte: do próprio autor

Figura 12 – Moldes prismáticos



Fonte: do próprio autor

Montados os moldes dos corpos de provas (já com desmoldante aplicado), iniciou-se a execução dos traços de concreto. Foram definidos traços com quatro percentuais diferentes de agregado de RCC: 0%, 30%, 70% e 100%. Em um concreto com 70% de agregado de RCC, havia 30% de agregado comum, por exemplo. O percentual era aplicado sobre a quantidade total de brita especificada no traço.

O traço escolhido estava suposto a resultar em um concreto com resistência de 25 MPa aos 28 dias e que, segundo a norma ABNT NBR 12655:2022, possuía uma classe de agressividade de valor 2. Porém, o traço original contava com a presença de aditivo plastificante e, no presente estudo, o aditivo não foi utilizado. Por esta razão, a primeira execução com o fator a/c original (0,54) resultou em uma mistura não trabalhável, como mostrado na figura 13. A relação água/cimento do traço passou por alterações testadas no momento da execução, até que fosse atingida uma trabalhabilidade aceitável.

Figura 13 – Concreto de 0% com A/C 0,54



Fonte: do próprio autor

Foram utilizadas areia fina, brita nº1 (tanto a natural, quanto a de RCC), cimento CII-F-32 e água, com a mistura tendo sido feita em betoneira. O traço final correspondeu-se a 1:2,65:2,75, com um a/c de 0,77%. As relações em massa dos percentuais supracitados sobre o traço são mostradas na tabela 1.

Tabela 1 - Traço em massa

Percentual de brita de RCC (%)	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita comum (kg)	Brita de RCC (kg)	Água (kg)
0		21,20	22,00	--	
30	8	21,20	15,40	6,60	6,16
70		21,20	6,60	15,40	
100		21,20	--	22,00	

Fonte: do próprio autor

É importante ressaltar que os testes do fator a/c foram realizados no traço com 0% de agregado de RCC. O motivo para tal ação é fato de que esse era o concreto comum, que serviria de ponto base para comparação frente aos concretos com adição do agregado reciclado.

A partir dos traços executados, foi possível determinar a consistência dos concretos. Para isso, foram aplicados os métodos descritos pela ABNT NBR 16889:2020 no momento da execução dos concretos, utilizando-se dos instrumentos apresentados anteriormente na figura 7. Para cada traço, foi feito um ensaio, sendo manual o método de adensamento utilizado, com haste metálica de adensamento conforme orienta a ABNT NBR 9833:2009. Além da determinação da consistência, houve a das massas específicas. Aferindo-se as massas dos recipientes cilíndricos para concreto, tanto vazios quanto preenchidos por cada traço, além de seus volumes, foram determinadas as massas específicas dos concretos com a utilização da fórmula a seguir, onde “ μ ” diz respeito à massa específica, “M” à massa inicial de cada amostra e “V” à variação de volume do recipiente.

$$\mu = \frac{M}{V} \text{ (Equação 5)}$$

Com os ensaios dos concretos em estado fresco realizados, iniciou-se a moldagem dos CP's. Tanto a moldagem quanto a desmoldagem dos corpos de prova foi realizada com base no que é dito na ABNT NBR 5738:2015, sendo a moldagem feita com o auxílio da haste metálica para adensamento. Foram executados, ao todo, 37 CP's cilíndricos e 8 prismáticos, apresentados nas figuras 14, 15, 16 e 17. Todos foram desmoldados após 48 horas da concretagem, período esse estabelecido para corpos de prova prismáticos

apenas. Porém, os cilíndricos também foram desmoldados após 48 horas, visando uma padronização e sequência única de trabalho. O laboratório não possuía uma câmara com umidade controlada para cura do concreto, então a solução adotada, e apresentada nas figuras 18, 19 e 20, foi submergir os corpos de prova em uma solução saturada de água com cal, a uma temperatura de aproximadamente 25°C. Os ensaios com os corpos de prova seriam executados aos 7 e 28 dias de cura. Desta forma, todos ficaram submersos até o momento de seus respectivos ensaios.

Figura 14 – CP's de 0% moldados



Fonte: do próprio autor

Figura 15 – CP's de 30% moldados



Fonte: do próprio autor

Figura 16 – CP's de 30 e 70% moldados



Fonte: do próprio autor

Figura 17 – CP's de 100% moldados



Fonte: do próprio autor

Figura 18 – CP's de submersos em água com cal



Fonte: do próprio autor

Figura 19 – CP's de submersos em água com cal



Fonte: do próprio autor

Figura 20 – CP's de submersos em água com cal



Fonte: do próprio autor

Para cada traço de concreto, houve ensaios de resistência à compressão em 4 corpos de prova cilíndricos, com as idades de 7 e 28 dias. Todos os moldes foram retificados como explicito na figura 21 e, logo em seguida, tiveram suas medidas aferidas para que pudessem ser calculadas as resistências à compressão. Foi aplicada uma carga de $(0,45 \pm 0,15)$ MPa por segundo, conforme orienta a ABNT NBR 5739:2018 e, com a equação 6, obteve-se a resistência final "R" em MPa através da razão entre a carga de ruptura "C" em Newtons e a área "S" do CP. A prensa da figura 22, utilizada nos ensaios, é capaz de aplicar até 200 toneladas de força e foi fabricada pela empresa Solotest.

$$R = \frac{C}{S} \text{ (equação 6)}$$

Figura 21 – CP cilíndrico no processo de retífica



Fonte: do próprio autor

Figura 22 – CP durante o ensaio de resist. à compressão



Fonte: do próprio autor

Por mais que o concreto estudado não possuísse armaduras, executou-se o ensaio de tração na flexão. O concreto resiste a este esforço em diversas utilizações, como a de pavimentos rígidos de concreto simples (BRITO *et al.* 2019). Portanto, foi considerado válido o ensaio para o estudo. Assim como o ensaio de resistência à compressão, foram feitos rompimentos aos 7 e 28 dias de cura, sendo um corpo de prova para cada idade e traço e a execução embasada na ABNT NBR 12142:2010.

Na extensão do comprimento dos CP's foram traçadas as linhas demarcando os terços da viga, vide figura 23, para que servissem como posição do apoio no momento da alocação na prensa. Essas marcações são feitas perpendicularmente à maior medida da viga: 25 mm de cada extremidade e 135 mm a partir de cada uma das linhas, foram feitas mais duas linhas. Os corpos de prova prismáticos não passaram por processo de retífica, dada a existência de superfícies que garantiram o total apoio do elemento. Na prensa apresentada na figura 24, a mesma utilizada no ensaio de resistência à compressão, foi aplicada uma carga entre 0,9 e 1,2 MPa por minuto, conforme normatizado. Para obtenção da resistência final em MPa, foi utilizada a equação para rompimentos dentro do terço médio (característica a ser mencionada no tópico 4), conforme orienta a referida norma. Nessa equação, "*fct, f*" diz respeito à resistência à tração na flexão em MPa, "*F*" a força aplicada em Newtons, "*l*" o vão entre apoios, "*b*" a largura do corpo de prova e "*d*" sua altura.

$$f_{ct, f} = \frac{F \cdot l}{b \cdot d^2} \text{ (equação 7)}$$

Figura 23 – Modelo de marcações feitas nos CP's



Fonte: do próprio autor

Figura 24 – CP durante o ensaio de resist. à tração na flexão



Fonte: do próprio autor

O último ensaio com o concreto em estado endurecido foi o de absorção de água por capilaridade. Nesse ensaio, foi utilizado um corpo de prova de cada traço, após 28 dias de cura e secagem em estufa. Os corpos de prova foram postos sobre uma fina lâmina d'água, com arames que garantiam apenas o toque e não a imersão, conforme mostra a figura 25. Por conta da disponibilidade do laboratório, foram coletadas as massas saturadas às 3, 6, 24 e 48 horas de ensaio. Dividindo-se a massa "M" pela área "S" do corpo de prova, obtiveram-se os índices "C" de absorção de água por capilaridade, como mostra a equação 8 a seguir. A ABNT NBR 9779:2012, utilizada para toda a execução do ensaio, contempla também a aferição da massa saturada após 72h de contato com a água. Ao final das aferições de massa, foi feito o rompimento por compressão diametral na mesma prensa utilizada nos ensaios anteriores, para análise visual da absorção de água.

$$C = \frac{M}{S} \text{ (equação 8)}$$

Figura 25 – CP's sobre lâmina d'água



Fonte: do próprio autor

4. Resultados e discussões

A seguir são apresentados os produtos finais dos ensaios realizados e do tratamento dos mesmos de acordo com os métodos anteriormente citados. Cada resultado neste estudo obtido é comparado com resultados de outros autores, citados no decorrer do tópico. É trazida primeiro toda a caracterização dos agregados para depois, serem trazidos os pontos a respeito dos concretos.

Com os resultados da aferição das massas úmidas (M1) e secas do agregado miúdo (M2) e aplicando a equação 1, foram obtidos os teores de umidade (H) apresentados nas tabelas 2 e 3 para os métodos da secagem em estufa e chapa aquecida, respectivamente.

Tabela 2 - Teor de umidade do agregado miúdo (estufa)

Método	Amostra	M1 (g)	M2 (g)	H (%)
Secagem em estufa	1	500	350,25	42,76
	2	500	339,76	47,16
Média				44,96

Fonte: do próprio autor

Tabela 3 - Teor de umidade do agregado miúdo (chapa)

Método	Amostra	M1 (g)	M2 (g)	H (%)
Chapa aquecida	3	500	497,60	0,48
	4	500	497,10	0,58
Média				0,53

Fonte: do próprio autor

A discrepância de valores médios resulta do fato de que os 10 minutos executados na chapa aquecida não foram suficientes para uma aferição precisa do teor de umidade. Por este motivo, o valor considerado para caracterização do agregado neste aspecto foi o de 44,96%. O teor de umidade no valor de 44,96 é considerado muito alto. Bohn, *et al.* (2011) obtiveram em seus estudos um teor de umidade de 17%, onde foi salientado o valor acima da umidade crítica, que impossibilita o agregado absorver mais água. Araújo, *et al.* (2020), ao aferirem o teor de umidade de areias secas extraídas de obras em Sobral, mencionaram que a quantidade de água em areias com mais que 2% de teor de umidade devem ser criteriosamente avaliadas, pois este valor caracteriza uma alta umidade.

Além do teor de umidade, foram obtidas as conclusões a respeito do índice de matérias pulverulentos da areia. Segundo a norma ABNT NBR 7211:2022, o percentual máximo de materiais pulverulentos em areias naturais não pode ser maior do que 3% para utilização em concretos com desgaste superficial e maior do que 5% para utilização em concretos sem esse desgaste. A areia utilizada, com seu percentual médio de 4,78% apresentado na tabela 4 a seguir, habilita o concreto que a contenha em sua composição a ser utilizado em situações em que não há desgaste superficial.

Tabela 4 - Índice de materiais pulverulentos

Amostra	Massa inicial m_s (g)	Massa final m_l (g)	Índice M_p (%)
1	300	286,13	4,62
2		285,17	4,94
Média			4,78

Fonte: do próprio autor

Assim como no ensaio anterior, foram aferidas as massas de duas amostras de agregado miúdo, sendo elas a massa seca antes da lavagem (m_s) e a massa seca após lavagem (m_l), para que utilizando-se da equação 2, fosse obtido o índice de materiais pulverulentos (M_p). A aferição desse índice é importante visto que um dos fatores que diminuem a trabalhabilidade do concreto é seu alto valor (HOFFMANN; 2015).

Ainda a respeito do agregado miúdo, seu ensaio granulométrico, como citado anteriormente, contemplou duas mostras, sendo uma com 500,6 g (amostra 1) e a outra com 500,9 g (amostra 2). Os dados a respeito das quantidades de material retido, bem como diâmetro máximo e módulo de finura são apresentados na tabela 5, além da distribuição granulométrica do agregado e as zonas de classificação, no gráfico 1.

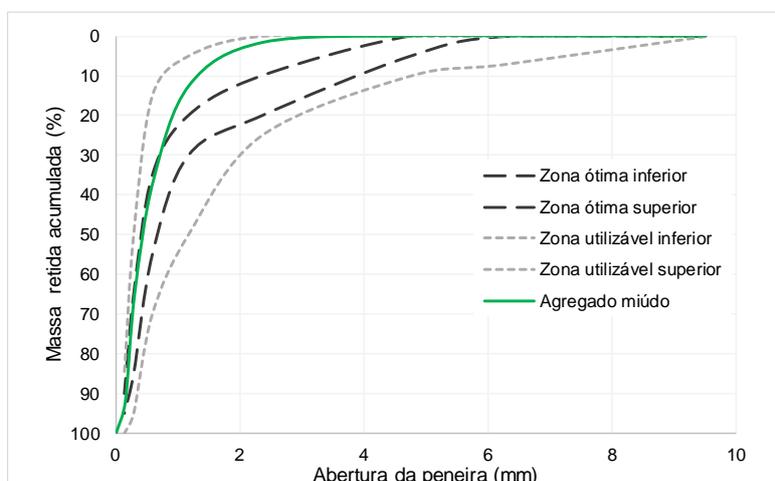
Tabela 5 - Análise granulométrica do agregado miúdo

Abertura da peneira (mm)	Massa retida (g)		Massa retida (%)		Variação \pm 4% (%)	Média (%)	Acumulada (%)	Diâmetro máx. (mm)	Módulo de finura
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 1	Amostra 2					
9,5	0	0	0	0	0	0	0	2,36	2,07
6,3	0	0	0	0	0	0	0		
4,75	0	0	0	0	0	0	0		
2,36	8,2	8,4	1,65	1,69	0,04	1,67	1,67		
1,18	45,8	61,2	9,21	12,3	3,09	10,76	12,43		
0,6	116,3	122,8	23,39	24,68	1,29	24,04	36,46		
0,3	143,8	139	28,92	27,94	0,98	28,43	64,89		
0,15	136,6	131,8	27,47	26,49	0,98	26,98	91,88		
Fundo	46,5	34,3	9,35	6,89	2,46	8,12	100		
Total	497,2	497,5	---	---	---	---	---		

Fonte: do próprio autor

Com exceção da peneira 6,3 mm, foram utilizadas peneiras da série normal, conforme apresentado na primeira coluna. As colunas seguintes apresentam as quantidades retidas tanto em massa quanto em percentual, onde a variação da amostra 1 para a amostra 2 não excedeu o valor de 4%, conforme mostra a sexta coluna, o que garante uma proporção igual entre os grãos das amostras. Nas duas colunas seguintes, são apresentadas as porcentagens retidas médias entre as amostras e com elas, a porcentagem acumulada obtida através do somatório da porcentagem média atual com a anterior. Estas verificações foram feitas para que fossem obtidos os valores do diâmetro máximo e módulo de finura, fundamentais para a definição do tipo de agregado que foi utilizado. O primeiro foi obtido ao verificar-se a primeira peneira que conteve uma massa acumulada igual ou menor a 5% (que no caso foi a de 2,36 mm) e o segundo, através da somatória e divisão por 100 das porcentagens acumuladas nas peneiras da série normal, perfazendo o valor de 2,07.

Gráfico 1 – Distribuição granulométrica do agregado miúdo



Fonte: do próprio autor

Como visto no gráfico 1, o agregado miúdo se enquadra em sua maior parte na zona utilizável inferior, que segundo a ABNT NBR 7211:2022, caracteriza uma areia fina. As zonas são definidas com base na massa retida acumulada nas peneiras, sendo os valores para definição das linhas explícitos na norma citada. Outro dado que caracteriza o agregado como fino é seu módulo de finura de 2,07. Camargo (2017), em sua caracterização de uma areia denominada fina, encontrou o módulo de finura de 1,24, afirmando desta forma que aquele agregado se encontrou fora dos limites da norma para os finos, que vai de 1,55 a 2,20.

Assim como feito para o agregado miúdo, para ambos os tipos de agregado graúdo foram aferidas as massas retidas em cada uma das peneiras no ensaio granulométrico, para as posteriores definições. Nas tabelas 6 e 7 e no gráfico 2 a seguir são apresentados os resultados e curvas granulométricas dos objetos de estudo.

Tabela 6 - Análise granulométrica do agregado graúdo comum

Abertura das peneiras (mm)	Massa retida (g)		Massa retida (%)		Variação ± 4% (%)	Média (%)	Acumulada (%)	Diâmetro máx. (mm)
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 1	Amostra 2				
19	47,52	39,36	4,76	3,94	0,82	4,35	4,35	19
9,5	930,12	947,85	93,1	94,87	1,77	93,98	98,33	
4,75	21,45	11,93	2,15	1,19	0,95	1,67	100	
Fundo	0	0	0	0	0	0	100	
Total	999,09	999,14	---	---	---	---	---	

Fonte: do próprio autor

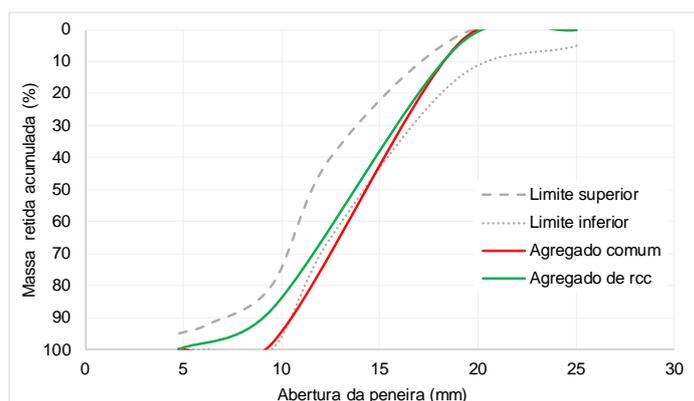
Tabela 7 - Análise granulométrica do agregado graúdo de RCC

Abertura das peneiras (mm)	Massa retida (g)		Massa retida (%)		Variação ± 4% (%)	Média (%)	Acumulada (%)	Diâmetro máx. (mm)
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 1	Amostra 2				
19	49,63	46,32	4,97	4,64	0,33	4,8	4,8	19
9,5	821,3	831,23	82,17	83,23	1,07	82,7	87,5	
4,75	128,63	121,11	12,87	12,13	0,74	12,5	100	
Fundo	0	0	0	0	0	0	100	
Total	999,56	998,66	---	---	---	---	---	

Fonte: do próprio autor

A disposição das colunas e os métodos de obtenção dos valores são exatamente os mesmos utilizados para o agregado miúdo, com a exceção de que para o agregado graúdo, o diâmetro máximo foi o último determinante de seu tipo.

Gráfico 2 – Distribuição granulométrica com limites para o agregado graúdo de zona granulométrica 9,5/25



Fonte: do próprio autor

Conforme explicito no gráfico 2, a curva granulométrica do agregado de RCC se enquadra totalmente dentro dos limites estabelecidos na ABNT NBR 7211:2022 para britas com zona granulométrica de 9,5/25 mm, sendo os limites definidos analisando-se a massa retida acumulada frente à peneira em que a mesma se encontra. Na curva da brita comum, houve uma pequena faixa entre as peneiras de 9,5 e 19 mm que esteve fora dos limites,

mas ainda assim o material se enquadra no tipo 1 por conta de seu diâmetro máximo característico. Esta faixa fora dos limites pode ser corrigida através da combinação da brita em questão com outra amostra de brita, verificando o enquadramento da nova curva granulométrica, dentro dos limites estabelecidos em norma. Desta forma, concluiu-se que as britas utilizadas eram do tipo 1. Tanto para o agregado miúdo quanto para o graúdo, o ensaio granulométrico é a principal maneira para detecção do tipo de elemento com o qual se trabalha.

Encaminhando-se para as últimas caracterizações dos agregados, são apresentados a seguir os resultados referentes às suas massas específicas. Santos *et al.* (2010), ao caracterizar um agregado miúdo fino, chegou ao valor de massa específica igual a 2670 kg/m³ através do método de Chapman, também utilizado no presente estudo. O resultado apresentado na tabela 8 a seguir está apenas 1,70% abaixo, reforçando desta forma o tipo de agregado como sendo fino.

Tabela 8 - Massa específica do agregado miúdo

Amostra	Massa do agregado M (kg)	Volume do agregado V (m ³)	Massa específica μ (kg/m ³)
1	0,5	0,000190	2631,58
2	0,5	0,000191	2617,80
Média			2624,69

Fonte: do próprio autor

A massa específica (μ) na última coluna foi obtida através da utilização da equação 3, sendo o resultado da divisão da massa do agregado (M) pelo valor do volume de água deslocado (V) por esse dentro do frasco constantes na segunda e terceira coluna respectivamente. Visto que quanto menor a massa específica de um agregado, maior é o consumo de água e cimento no traço (CABRAL *et al.*; 2008), a obtenção da massa específica é necessária para a análise do comportamento do concreto no momento de sua execução e em seus ensaios em estado fresco. As tabelas 9 e 10 apresentam os resultados referentes às massas específicas dos agregados graúdo e seguem o mesmo método de obtenção e disposição sobredito.

Tabela 9 - Massa específica do agregado graúdo comum

Amostra	Massa do agregado M (kg)	Volume do agregado V (m ³)	Massa específica μ (kg/m ³)
1	1,001	0,000380	2632,89
2	1,000	0,000380	2632,63
Média			2632,76

Fonte: do próprio autor

Tabela 10 - Massa específica do agregado graúdo de RCC

Amostra	Massa do agregado M (kg)	Volume do agregado V (m ³)	Massa específica μ (kg/m ³)
1	1	0,000390	2564,10
2	1	0,000390	2564,10
Média			2564,10

Fonte: do próprio autor

Os valores obtidos apresentam uma diferença de 2,68% entre as massas específicas dos agregados, o que mostra que possuem características parecidas. Nunes (2007) em sua caracterização de agregados dos mesmos tipos e dimensões, obteve para a brita comum um valor de 2760 kg/m³ e para a brita reciclada, uma massa específica aparente de 2530 kg/m³, gerando uma diferença percentual de 9,09%.

Por fim, são discutidos a seguir os resultados provenientes dos ensaios das massas unitária dos agregados. Esta propriedade indica principalmente o índice de vazios do agregado, visto que é analisada sua massa dentro de um determinado volume. Ou seja: quanto menor é a massa, maior é o índice de vazios. Na tabela 11 a seguir são apresentadas as massas unitárias do agregado miúdo.

Tabela 11 - Massa unitária do agregado miúdo

Amostra	Massa do agregado + recipiente m_a (kg)	Massa do recipiente m_r (kg)	Volume do recipiente V (m ³)	Massa unitária M_u (kg/m ³)
1	13,663	2,0719	0,00734472	1578,15
2	13,710	2,0719	0,00734472	1584,55
Média				1581,35

Fonte: do próprio autor

A obtenção da unitária (M_u) apresentada na última coluna se deu através da equação 4, onde a massa do agregado veio da subtração entre sua massa junta à massa do recipiente (m_a), na segunda coluna, e a massa do próprio recipiente (m_r) na terceira, e posteriormente dividida pelo volume do recipiente (V), na quarta coluna. A massa unitária de 1581,35 kg/m³ atingiu valor satisfatório frente ao tipo de agregado (areia fina). Carasek *et al.* (2016), ao ensaiarem o mesmo tipo de agregado, obtiveram o valor de 1,53 g/cm³, ou 1530 kg/m³. As tabelas 12 e 13 contemplam o mesmo método de cálculo e obtenção de resultados, porém, para os agregados graúdos comum e reciclado.

Tabela 12 - Massa unitária do agregado graúdo comum

Amostra	Massa do agregado + recipiente m_a (kg)	Massa do recipiente m_r (kg)	Volume do agregado V (m^3)	Massa unitária M_u (kg/ m^3)
1	13,410	2,0719	0,00734472	1543,71
2	13,251	2,0719	0,00734472	1522,06
Média				1532,88

Fonte: do próprio autor

Tabela 13 - Massa unitária do agregado graúdo de RCC

Amostra	Massa do agregado + recipiente m_a (kg)	Massa do recipiente m_r (kg)	Volume do agregado V (m^3)	Massa unitária M_u (kg/ m^3)
1	11,778	2,0719	0,00734472	1321,51
2	11,771	2,0719	0,00734472	1320,55
Média				1321,03

Fonte: do próprio autor

A massa unitária de agregados graúdos reciclados, provindos de demolições, já foi estudada por Maia *et al.* (2022). Os autores obtiveram um aumento de massa de 21,75% do agregado comum frente ao reciclado, sendo os valores 1483,09 e 1218,11 kg/ m^3 respectivamente, onde o menor valor de um para o outro foi justificado pela maior presença de vazios no agregado reciclado. Ao analisar os dados expostos, notou-se o mesmo comportamento obtido nos estudos dos autores supracitados, sendo a variação, neste caso, de 16,04%. Tanto o presente estudo quanto os mencionados, ao indicar que o agregado reciclado possui uma massa unitária menor, fez-se concluir a presença de mais vazios no mesmo.

Com todos os agregados devidamente caracterizados, foram estudados os concretos frescos em um primeiro momento. Como já citado, foram feitos os ensaios de abatimento de tronco de cone e de massa específica.

Os resultados obtidos no ensaio do abatimento de tronco de cone são apresentados na tabela 14, a seguir. A importância desse ensaio se dá pelo fato de que essa caracterização é a que define o quão trabalhável é o concreto e onde esse pode ser aplicado.

Tabela 14 - Abatimento de tronco de cone

Percentual de brita de RCC (%)	Abatimento (mm)
0	95
30	200
70	80
100	15

Fonte: do próprio autor

Na tabela, a primeira coluna conta com o concreto ensaiado, identificado através do percentual de agregado reciclado em sua composição. Na coluna ao lado, a medida de seus abatimentos. Com a exceção do concreto com 30% de concentração do agregado de RCC, que pode ter tido falhas no momento do ensaio, foi notável a diminuição do abatimento ao passo que a concentração do agregado reciclado aumentou. Entre o concreto com nenhuma substituição e com a substituição máxima entre os dois tipos de brita, a diminuição do abatimento foi de 84,21%. Silva e Filho (2021), ao estudarem a trabalhabilidade de concretos com agregado reciclado de construção civil, observaram que o aumento do percentual desse agregado resultou em uma menor trabalhabilidade do concreto, com uma redução de 50% da mesma entre o concreto comum e o concreto com 50% de substituição, o que proporcionalmente se assemelha aos resultados do atual estudo. Sharma e Singla (2014) obtiveram uma redução de 50,59% com a substituição do agregado comum pelo reciclado. A menor trabalhabilidade está relacionada à uma menor presença de água no traço, proporcionada pela tendência de maior absorção de água nos agregados reciclados (BAZUCO; 1999). As figuras de 26 a 29 a seguir apresentam a aferição prática do abatimento.

Figura 26 – Concreto de 0%



Fonte: do próprio autor

Figura 28 – Concreto de 70%



Fonte: do próprio autor

Figura 27 – Concreto de 30%



Fonte: do próprio autor

Figura 29 – Concreto 100%



Fonte: do próprio autor

De acordo com a ABNT NBR 8953:2015 e com sua classificação do concreto quanto à sua consistência, os concretos de 0% e 70% são adequados para pavimentação e fundações, enquanto o de 30% (com a ressalva da possível falha no ensaio desse concreto) para estruturas que exigem bombeamento e o de 100%, em aplicações vibroprensadas, extrusadas ou centrifugadas.

O último ensaio em estado fresco realizado foi o da massa específica, que serve principalmente para determinar o quão denso é o concreto. Na tabela 15 a seguir, o valor desta propriedade (μ) na última coluna foi obtido com a utilização da equação 5, onde o

valor da massa do concreto dentro recipiente (M), na segunda coluna, foi dividido pelo volume do próprio recipiente (V) da terceira coluna. Novamente, os resultados são associados ao tipo de concreto com base no percentual de adição do agregado de RCC, como mostra a primeira coluna.

Tabela 15 – Massa específica do concreto fresco

Percentual de brita de RCC (%)	Massa de concreto M (kg)	Volume do recipiente V (m ³)	Massa específica μ (kg/m ³)
0	23,238	0,0103	2256,117
30	23,208	0,0101	2297,822
70	22,668	0,0101	2244,356
100	22,883	0,0101	2265,644

Fonte: do próprio autor

Dado a massa específica do agregado reciclado ser menor que a do natural, a massa específica do concreto tende a apresentar o mesmo comportamento (RODRIGUES; FUCALE; 2014). Ainda segundo os autores, uma explicação para a menor massa específica do concreto reciclado frente ao concreto comum é o maior fator a/c, por conta da maior absorção de água dos agregados reciclados. Os resultados obtidos no estudo apresentaram dados diferentes do esperado, onde o concreto com nenhuma adição de agregado de RCC possui uma massa específica apenas 0,42% menor que a do concreto com 100% de adição. Em termos gerais, as massas específicas de todos tiveram valores próximos, com uma variação máxima de 2,38%.

Com todos os ensaios em estados fresco realizados e após moldagem e cura dos CP's, foram verificadas suas resistências. A seguir, são discutidos os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão, tração na flexão e absorção de água por capilaridade.

Aplicando os métodos de ensaio descritos anteriormente no tópico 3, foram obtidas as resistências à compressão aos 7 e 28 dias de cura. Os valores calculados são demonstrados nas tabelas 16 e 17. Nas referidas tabelas, são separados os concretos de acordo com seu percentual de adição de agregado graúdo de RCC na primeira coluna, seguidos pelos números dos corpos de prova (2ª coluna), áreas de superfície (3ª coluna) e a carga aplicada. Para obtenção da carga em MPa, visto que a prensa fornece valores em tonelada-força (4ª coluna), foi utilizada a equação 6, referente à razão deste valor em Newtons (5ª coluna), pela área do CP (3ª coluna). Com os valores para cada corpo de prova, foi obtido a resistência média para o traço, conforme apresentado na última coluna. Como complemento e para uma observação visual dos resultados, o gráfico 3 apresenta as resistências de cada traço em função de seus tempos de cura.

Tabela 16 - Resistência à compressão aos 7 dias

Concentração de agregado reciclado	N° CP	Área (mm ²)	Carga (tf)	Carga (N)	Resistência à compressão (MPa)	Resistência à compressão média (MPa)
0%	1	7869,70	7,84	78400	9,96	10,13
	2	7853,98	7,21	72100	9,18	
	3	7853,98	8,09	80900	10,30	
	4	7869,70	8,10	81000	10,29	
30%	35	7853,98	6,82	68200	8,68	10,07
	36	7869,70	7,92	79200	10,06	
	37	7853,98	7,92	79200	10,08	
	38	7869,70	9,76	97600	12,31	
70%	23	7853,98	9,37	93700	11,88	12,20
	24	7853,98	10,25	102500	13,05	
	27	7697,69	9,63	96300	12,51	
	28	7697,69	8,50	85000	11,04	
100%	12	7853,98	10,20	102000	13,02	13,13
	13	7869,70	9,75	97500	12,41	
	14	7853,98	10,80	108000	13,75	
	15	7853,98	10,39	103900	13,23	

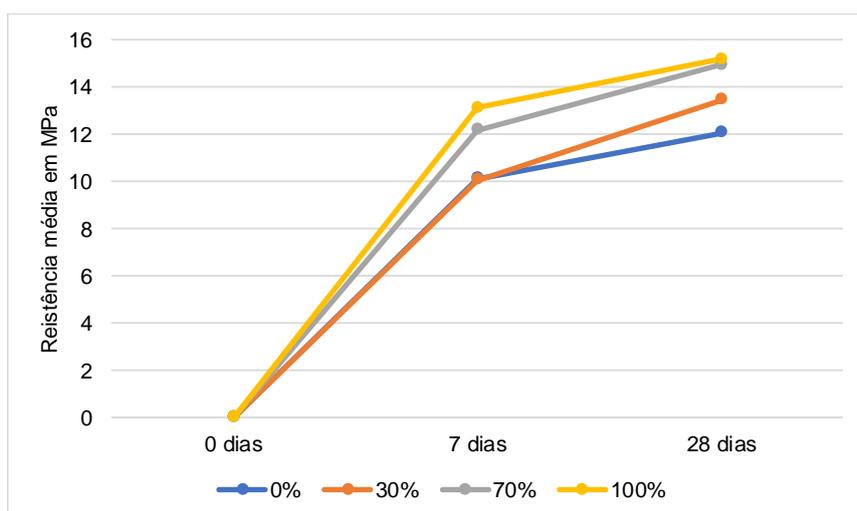
Fonte: do próprio autor

Tabela 17 - Resistência à compressão aos 28 dias

Concentração de agregado reciclado	N° CP	Área (mm ²)	Carga (tf)	Carga (N)	Resistência à compressão (MPa)	Resistência média à compressão (MPa)
0%	5	7853,98	9,86	98600	12,59	12,06
	6	8011,85	9,07	90700	11,31	
	7	7853,98	9,06	90600	11,54	
	8	7853,98	9,10	91000	22,36	
30%	41	7995,99	10,88	108800	13,61	13,47
	42	7853,98	11,78	117800	15,00	
	43	8011,85	10,13	101300	12,63	
	44	7995,99	10,66	106600	13,33	
70%	30	8011,85	12,18	121800	15,18	14,94
	31	8011,85	12,70	127000	15,83	
	32	8171,28	12,06	120600	14,70	
	33	8011,85	10,57	105700	13,19	
100%	16	8171,28	12,71	127100	15,55	15,18
	18	8011,85	11,86	118600	14,80	
	19	7853,98	10,85	108500	13,83	
	20	7885,43	12,57	125700	15,96	

Fonte: do próprio autor

Gráfico 3 – Resistência à compressão nos CP's cilíndricos



Fonte: do próprio autor

Dentre os quatro traços, o que apresentou a maior resistência aos 7 e 28 dias foi o que possuía a concentração de 100% de agregado de RCC, com 13,13 e 15,18 MPa respectivamente, seguido pelo concreto com 70% 12,20 MPa com 7 dias de cura e 14,95 MPa com 28. O concreto com 30% desse agregado obteve com 7 dias uma resistência ligeiramente menor do que o que possui 0%, porém, após 28 dias, sua resistência se mostrou maior. Pode-se dizer que, aos 28 dias, houve um cascadeamento das resistências, inversamente proporcional à concentração de agregado de RCC. Em concretos com a relação a/c maior que 0,60, uma maior quantidade de agregado de RCC culminou em uma maior resistência à compressão (LEITE, 2001). A autora justificou este comportamento ao observar que com um fator a/c maior, o concreto adquiriu melhores zonas de transição por conta das características do próprio agregado utilizado, como a absorção. Souza *et al.* (2020) encontrou as mesmas características com agregados graúdos de concreto, onde os traços que tiveram a cura submersa (que é o caso do atual estudo) atingiram maiores resistências quando comparado a concretos comuns ou com outro tipo de cura. A justificativa foi a melhora da relação pasta/agregado por conta da maior absorção de água e porosidade do agregado. Ainda relacionado à maior absorção do agregado reciclado, notou-se que quanto maior sua concentração, mais seco era o aspecto do corpo de prova. Aos 7 dias e 28 dias, os corpos de prova de concreto comum (0%) possuíam agregado miúdo se desprendendo de sua superfície, enquanto os que possuíam alguma concentração de agregado de RCC não estavam desta forma e aparentaram um processo de cura com maior avanço.

A resistência esperada de 25 MPa não foi atingida, principalmente por conta do alto fator água/cimento, que foi de 0,77. Foi utilizada uma quantidade muito alta de água, por conta da não utilização do aditivo plastificante. Essa quantidade esteve acima do normal até mesmo para concretos que não consideram a utilização do aditivo. Segundo a ABNT NBR 12655:2022, este valor deve ir de 0,45 a 0,65. O último possível fator para uma menor resistência é o armazenamento dos corpos durante o processo de cura, dado o fato de que não estavam em um ambiente com a umidade devidamente controlada. Todos os corpos ensaiados tiveram o tipo de rompimento sendo cônico, cisalhado e cônico e cisalhado, apresentados nas figuras 30, 31 e 32 respectivamente, a seguir.

Figura 30 – Romp. cônico



Fonte: do próprio autor

Figura 31 – Romp. cisalhado



Fonte: do próprio autor

Figura 32 – Romp. cônico e cisalhado



Fonte: do próprio autor

Na outra caracterização de resistência feita para os concretos, de tração na flexão, o método de obtenção dos resultados é análogo ao mencionados para a resistência a compressão. Nas tabelas 18 e 19 a seguir, as duas primeiras colunas apresentam a discriminação do concreto com base em seu percentual de agregado reciclado e o número do corpo de prova, respectivamente. Em seguida, as dimensões do corpo de prova na 3ª, 4ª e 5ª coluna, bem como, na 6ª coluna, as distâncias entre as marcações apresentadas na figura 23. As três últimas colunas apresentam a carga de ruptura, a conversão para Newton e em seguida, a resistência final em MPa respectivamente. Para obtenção da resistência em MPa, foi utilizada a equação 7, que leva em conta a razão do produto da carga de ruptura e distância entre os apoios pelo produto da largura e altura corpo de prova ao quadrado.

Tabela 18 – Resistência à tração na flexão aos 7 dias

Concentração de agregado reciclado	Nº CP	Dimensões (mm)			Dist. entre apoios (mm)	Carga (tf)	Carga (N)	Resistência à tração na flexão (MPa)
		Largura	Altura	Vão livre				
0%	10	101	100	405	135	0,12	1200	0,16
30%	45	100	101	400		0,87	8700	1,15
70%	25	100	105	401		1,05	10500	1,29
100%	21	101	101	405		0,76	7600	1,00

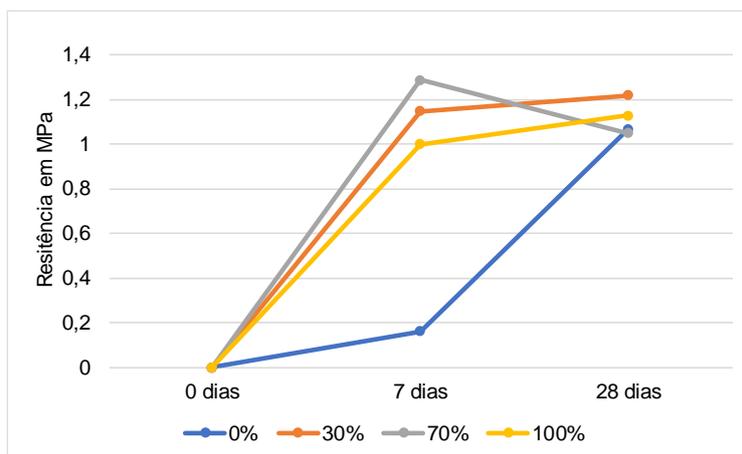
Fonte: do próprio autor

Tabela 19 – Resistência à tração na flexão aos 28 dias

Concentração de agregado reciclado	Nº CP	Dimensões (mm)			Dist. entre apoios (mm)	Carga (tf)	Carga (N)	Resistência à tração na flexão (MPa)
		Largura	Altura	Vão livre				
0%	11	100	101	405	135	0,81	8100	1,07
30%	46	102	104	400		1,00	10000	1,22
70%	26	104	102	401		0,84	8400	1,05
100%	22	106	102	405		0,92	9200	1,13

Fonte: do próprio autor

Gráfico 4 – Resistência à tração na flexão nos CP's prismáticos



Fonte: do próprio autor

Assim como nos corpos de prova cilíndricos, no ensaio de tração na flexão, os corpos de prova com maior concentração de agregado reciclado obtiveram um melhor desempenho. Este resultado difere do encontrado por Leite (2001), que em seus ensaios de resistência à tração na flexão com concretos que continham agregado graúdo reciclado e diferentes fator a/c , concluiu que independente do referido fator, o aumento desse agregado provocou uma queda na resistência final. O concreto com 30% de concentração de agregado de RCC obteve o melhor desempenho após a cura de 28 dias, com 1,22 MPa. Em termos percentuais, uma diferença de 14,02% entre o concreto de 0% e 30% de agregado reciclado. Damasceno *et al.* (2023) obtivera resultados parecidos, onde em seus ensaios com concretos de 0, 30 e 100%, o que se destacou positivamente foi o concreto com percentual de 30% de acréscimo do agregado de RCC, com o valor médio de 6,88 MPa e uma diferença de 14,10% quando comparado ao concreto comum. A importância desse ensaio se dá pelo fato de que, a depender da utilização do concreto, um dos principais esforços solicitantes é a tração, como já mencionado para o caso de pavimentos. Não havia uma resistência esperada, sendo objetivo do ensaio a verificação do melhor concreto para o esforço de tração na flexão. Além disso, cabe ressaltar que todos os rompimentos ocorreram dentro do terço médio, fator esse utilizado no momento dos cálculos de resistência, e os apontamentos quanto à umidade dos CP's cilíndricos se aplicam inteiramente aos prismáticos.

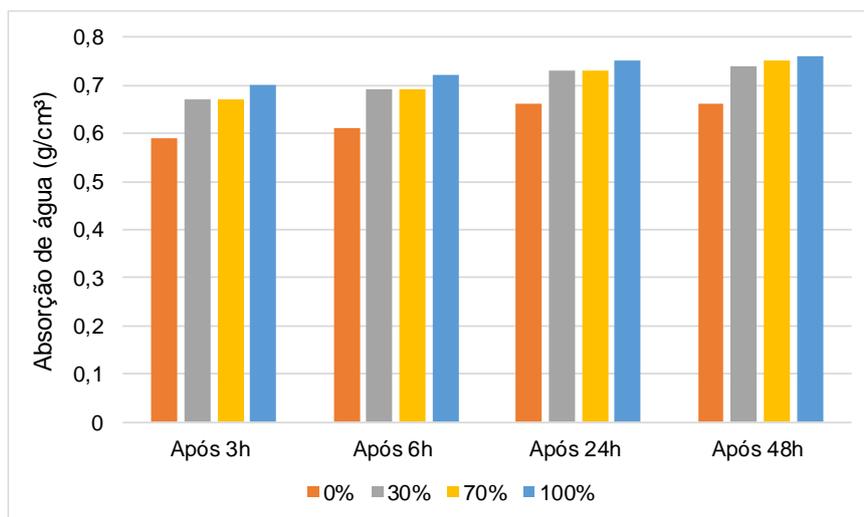
Por fim, foram coletadas as massas dos corpos de prova após os períodos 3, 6, 24 e 48 horas, conforme mostrado nas 4 últimas colunas da tabela 20. Novamente, cada traço foi separado de acordo com sua concentração de agregado reciclado. Dividindo-se as massas aferidas pela área do corpo de prova, como mostrado na equação 8, foram encontrados os índices de absorção de água. Como complemento à tabela 20, há o gráfico 5 para uma comparação visual dos resultados.

Tabela 20 – Absorção de água por capilaridade em CP's cilíndricos

Concentração de agregado RCC	Índice de absorção de água (g/cm ²)			
	Após 3h	Após 6h	Após 24h	Após 48h
0	0,59	0,61	0,66	0,66
30	0,67	0,69	0,73	0,74
70	0,67	0,69	0,73	0,75
100	0,7	0,72	0,75	0,76

Fonte: do próprio autor

Gráfico 5 – Resistência à tração na flexão nos CP's prismáticos



Fonte: do próprio autor

Conforme observado, a absorção de água do concreto aumentou ao passo que a concentração do agregado graúdo de RCC também aumentou. Os traços de 30% e 70% de adição se mostraram iguais, com uma diferença de 0,01 g/cm³ de absorção na pesagem das 48h. Com base nas últimas aferições, as diferenças foram de 12,12% do concreto comum para que possuía 30% de agregado de RCC, 13,64% para o concreto com 70% e 15,15% para o concreto com substituição completa. A absorção de água é maior nos concretos com um percentual maior de substituição, afirmação feita também por Frotté *et al.* (2017), ao constatar 42 e 65% de aumento na absorção dos concretos com substituição de 25 e 50% respectivamente, quando comparados ao concreto comum. A maior porosidade do agregado reciclado é a justificativa para os aumentos de absorção, como menciona Costa *et al.* (2019), que citam também a diferença na composição entre os agregados que utilizaram em seus estudos.

As figuras de 33 a 36 a seguir mostram os corpos de prova ensaiados após rompimento diametral, feito para análise visual da absorção de água. As linhas em vermelho destacam o avanço vertical da água, que quando comparada às bases dos CP's, comprovam as diferenças mencionadas anteriormente.

Figura 33 – Concreto c/ 0%



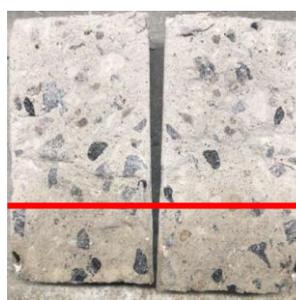
Fonte: do próprio autor

Figura 34 – Concreto c/ 30%



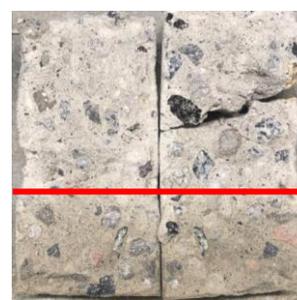
Fonte: do próprio autor

Figura 35 – Concreto c/ 70%



Fonte: do próprio autor

Figura 36 – Concreto c/ 100%



Fonte: do próprio autor

5. Conclusão

A partir dos ensaios realizados, foram concluídos alguns pontos e características relevantes. O agregado reciclado possui alta influência na absorção de água no concreto, visto que quanto maior foi sua concentração, maior foi a absorção. Por esta razão, os concretos com o agregado de RCC, que possuíam menos água e estavam mais endurecidos após a cura, possuíam maior resistência tanto à compressão quanto à tração na flexão aos 7 e 28 dias, com a exceção do concreto de 30% de concentração ao sétimo dia do ensaio de resistência à compressão, que teve o resultado ligeiramente menor do que o concreto comum. O aumento da resistência proporcional ao aumento do agregado reciclado pode ser justificado pelo acréscimo de água (por conta da absorção elevada), que aumentou do fator a/c do traço.

O concreto com 100% de concentração do agregado graúdo de RCC, aos 28 dias, possuiu uma resistência à compressão 15,61% maior do que o concreto com 0% de concentração, atingindo o primeiro uma resistência de 15,18 MPa e o segundo 13,13 MPa. Os concretos com 30 e 70% de concentração estiveram 11,69 e 23,88% respectivamente, com as resistências de 13,47 e 14,94 MPa também respectivamente.

No ensaio de resistência à tração na flexão, aos 28 dias, o concreto com a adição do agregado reciclado também se sobressaiu perante o comum, sendo a combinação com 30% de agregado reciclado a com melhor resistência, de 1,22 MPa, enquanto o concreto comum atingiu 1,07 MPa. A diferença percentual foi de 14,02%. Os concretos com 70 e 100% tiveram os valores de 1,05 e 1,13 MPa respectivamente.

Desta forma, conclui-se que o concreto com a adição de agregado de RCC tende a se comportar bem sob a aplicação de esforços, com destaque para sua resistência à compressão no traço onde há apenas esse agregado. Este é um ponto positivo e que viabiliza, junto a demais estudos a serem feitos, a aplicação deste material em concretos para outras finalidades além das atuais. Sua utilização em pavimentos se mostrou como uma ótima opção, com base nos resultados obtidos no ensaio de tração na flexão, sendo a combinação de 30% de agregado de RCC e 70% de agregado comum a melhor delas.

É esperado que os estudos aqui apresentados sejam de proveito para uma incorporação cada vez maior deste agregado no mundo da construção civil, conscientizando todos a respeito da ressignificação de elementos para os quais, geralmente, não é destinada a devida atenção. A seguir são listados alguns tópicos que servem de sugestão para estudos futuros a respeito do assunto:

- Uma caracterização precisa dos agregados graúdos de RCC, que leve em conta as resistências individuais;
- Conhecimento a respeito da interação do agregado com o concreto em sua volta, com base em seus diversos formatos;
- Ensaios com o concreto feito com esse agregado, mas que também contenha armaduras.

6. Referências bibliográficas

ÂNGULO, S.; OLIVEIRA, L.; MACHADO, L. **Pesquisa setorial ABRECON 2020: a reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil**. 2022.

ÂNGULO, S.; ZORDAN, S.; JOHN, V. **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil**. São Paulo, 2001.

ARAÚJO, L.; CARVALHO, F.; SANTANA, K.; RODRIGUES, M.; SALES, J. A falta de controle dos agregados miúdos em diferentes obras de Sobral. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 9, p. 67714-67723, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Requisitos. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9779**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9833**: Concreto fresco – Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12142**: Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16889**: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16916**: Agregado miúdo – Determinação da densidade e da absorção de água. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16917**: Agregado graúdo – Determinação da densidade e da absorção de água. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16972**: Agregados – Determinação da massa unitária e do índice de vazios. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16973**: Agregados – Determinação do material fino que passa pela peneira de 75 µm por lavagem. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17054**: Agregados – Determinação da composição granulométrica – método de ensaio. 2022.

BAZUCO, R.; **Utilização de agregados reciclados de concreto para produção de novos concretos**. Florianópolis, 128 p., 1999. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina.

BOHN, T.; HERRMANN, T; TESTA, M; CANTARELLI, G.; SOKOLOVICZ, B. Determinação da umidade da areia. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 11., Rio Grande do Sul. **Salão do Conhecimento**, 2011.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.

BRITO, L.; ALMEIDA, A.; OLIVEIRA, F. Análise da correlação entre resistência à compressão axial e à tração na flexão em pavimentos rígidos. **Revista Tecnologia**, Fortaleza, v. 40, n. 2, p. 1-18, 2019.

CABRAL, A.; SCHALCH, V.; MOLIN, D.; RIBEIRO, J. Determinação da influência do tipo de agregado reciclado de resíduo de construção e demolição sobre o módulo de deformação de concretos produzidos com agregados reciclados. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 1, n. 2, p. 171-192, 2008.

CAMARGO, D.; MOREIRAS, S. Estudo da influência granulométrica do agregado miúdo para uso em argamassas de revestimento. In: ENCONTRO ANUAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 26., Maringá. **Encontro Anual de Iniciação Científica Júnior**, 2017.

CARASEK, H.; ARAÚJO, R.; CASCUDO, O.; ANGELIM, R. Parâmetros da areia que influenciam a consistência e a densidade de massa das argamassas de revestimento. **Matéria**, v. 21, n. 02, p. 714-732, 2016.

COSTA, A.; MARANHÃO, L.; MARTINI, S.; SALVADOR, P. Agregado reciclado de resíduos de construção e demolição: influência nas propriedades do concreto no estado endurecido. In: **2º Workshop de Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos**, 2019. p. 1-6.

COSTA, G.; RIOS, E. Avaliação da resistência à compressão do concreto produzido com agregados reciclados da construção civil. **Congresso técnico científico da engenharia e da agronomia**. Belém, 2017.

DAMASCENO, I.; LIMA, L.; MORAES, R.; FERREIRA, M.; OLIVEIRA, M. Influência da substituição de agregados naturais por agregados graúdos reciclados de concreto nas propriedades mecânicas do concreto. **Encontro Nacional de Aproveitamento de Resíduos na Construção**, v. 8, p. 1-7, 2023.

EVANGELISTA, L.; BRITO, J. Durability performance of concrete made with fine recycled concrete aggregates. **Cement and Concrete Composites**, v. 32, n. 1, p. 9-14, 2010.

FROTTÉ, C.; NUBILA, C.; NAGALLI, A.; MAZER, W.; MACIOSKI, G.; OLIVEIRA, L. Estudo das propriedades físicas e mecânicas de concreto com substituição parcial de agregado natural por agregado reciclado proveniente de RCD, **Matéria**, v. 22, n. 02, 2017.

GIL, C.; **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.

GONÇALVES, R. **Agregados reciclados de resíduos de concreto – Um novo material para dosagens estruturais**. São Carlos, 148 p., 2001. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

HOFFMANN, L. **Efeitos da adição de materiais pulverulentos proveniente da britagem de rochas na resistência de concretos convencionais**. Curitiba, 125 p., 2015. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná.

HOOD, R. **Análise da viabilidade técnica da utilização de resíduos de construção e demolição como agregado miúdo reciclado na confecção de blocos de concreto para pavimentação.** Porto Alegre, 150 p., 2006. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

JOSEPH, M.; SIERENS, Z.; BOEHME, L.; VANDEWALLE, L. Water absorption variability of recycled concrete aggregates. **Magazine of Concrete Research**, Ostend – BE, v. 67, n. 11, 2015.

KARPINSKI, L.; PANDOLFO, A.; REINEHER, R.; GUIMARÃES, J.; PANDOLFO L.; KUREK, J. **Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: uma abordagem ambiental.** Porto Alegre: EdiPUCRS, 2009.

LANA, L.; RODRIGUES, T. **Estudo da influência dos agregados reciclados na resistência à compressão e na resistência à tração no concreto.** Caratinga, 53 p., 2018. Dissertação (Bacharelado) – Curso de Engenharia Civil das Faculdades de DOCTUM.

LEITE, M. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduo de construção e demolição.** Porto Alegre, 290 p., 2001. Dissertação (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MAIA, P.; JÚNIOR, L.; SALLES, P.; CARVALHO, M. Avaliação técnica de concreto estrutural fabricado com agregado graúdo de resíduos de construção e demolição. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 8, 2022.

MENEZES, M.; SALES, A. Agregado graúdo reciclado de concreto em substituição ao agregado natural na produção de concreto estrutural. **Encontro nacional de aproveitamento de resíduos na construção**, v. 6, p. 185-196, 2019.

NUNES, W. **Influência do agregado graúdo reciclado de resíduos da construção predial nas propriedades do concreto fresco e endurecido.** Goiânia, 202 p., 2007. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás.

OLIVEIRA, L.; SOARES, M.; QUARESMA, W.; ADORNO, A. Gestão de resíduos: uma análise sobre os impactos da geração de rejeitos na construção civil. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 5, p. 24447-24462, 2020.

PELISSARI, V.; **Propriedades de concretos produzidos através da utilização de agregado reciclados de concreto.** Curitiba, 123 p., 2016. Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

RODRIGUES, C.; FUCALE, S. Dosagem de concretos produzidos com agregado miúdo reciclado de resíduo da construção civil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 99-111, 2014.

SANTOS, C.; VALENTINA, L.; FOLGUERAS, M.; SEMPTIKOVSKI, S.; GALUPPO, W. Estudo da viabilidade de substituição parcial da areia natural pelo pó de exaustão de fundição no concreto convencional. **Congresso Brasileiro de Cerâmica**, 2010.

SALLES, P.; GOMES, C.; POGGIALI, F.; RODRIGUES, C. A importância da segregação do agregado reciclado na resistência e na durabilidade do concreto estrutural. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, n. 3, p. 177-196, 2021.

SEABRA, F.; CAMPOS, M. Utilização de concreto com agregado reciclado em elementos não estruturais. **Revista Expressão da Estácio**, v. 4, n.1, p. 81-95, 2020.

SHARMA, J.; SINGLA, S. Influence of Recycled Concrete Aggregates on Strength Parameters of Concrete. **SSRG International Journal of Civil Engineering**, v. 1, n. 4, p. 20-24, 2014.

SILVA, C.; FILHO, J. **Análise da caracterização e resistência do concreto com adição de agregado graúdo reciclado da construção civil**. Goianésia, 75 p., 2021. Dissertação (Bacharelado) – Faculdade Evangélica de Goianésia.

SOUSA, W. **Estudo sobre a aplicação de agregado reciclado de concreto em construção de pavimentos**. São Carlos, 148 p., 2011. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

SOUZA, B.; PAES, C.; BARBOZA, L. Estudo do agregado graúdo reciclado de concreto como agente de cura interna. **Matéria**, v. 25, n. 04, 2020.

TENÓRIO, J. **Avaliação de propriedades do concreto produzido com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição visando aplicações estruturais**. Maceió, 157 p., 2007. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Alagoas.

VIEIRA, L.; MOLIN, D.; LIMA, F. Resistência e durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição. **Revista Engenharia Civil da Universidade do Minho**, Braga – PT, v. 19, p. 5-18, 2004.