

AGREGADO RECICLADO DE CONCRETO: ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO AGREGADO GRAÚDO RECICLADO DE CONCRETO PARA USO EM CONCRETOS ESTRUTURAIS

RECYCLED CONCRETE AGGREGATE: ANALYSIS OF THE PHYSICAL PROPERTIES OF RECYCLED COARSE CONCRETE AGGREGATE FOR USE IN STRUCTURAL CONCRETE

Alison Carlos de Oliveira Batista¹

Flávio Lúcio Santo de Carvalho²

RESUMO: A gestão dos resíduos gerados pela construção civil apresenta um desafio cada vez maior devido ao aumento significativo na geração de resíduos sólidos, tornando a construção civil um dos maiores produtores de resíduos urbanos e impactando negativamente o meio ambiente com poluição e destruição de áreas naturais. A gestão de resíduos envolve conceitos e princípios como a redução, reutilização e reciclagem de materiais, visando minimizar a quantidade de resíduos gerados e promover práticas sustentáveis. No canteiro de obras, a gestão ambiental é crucial para garantir a correta destinação dos resíduos e implementar práticas que reduzam o impacto ambiental. A legislação ambiental dos resíduos sólidos, como a Política Nacional de Resíduos Sólidos no Brasil, estabelece diretrizes para o gerenciamento adequado, promovendo a responsabilidade compartilhada entre os geradores de resíduos e o poder público. A economia circular, essencial para a sustentabilidade na construção civil, incentiva a reutilização de materiais, transformando resíduos em novos recursos e minimizando a dependência da extração de recursos naturais. A utilização de agregado reciclado de concreto exemplifica a aplicação da economia circular, diminuindo a demanda por agregados naturais e reduzindo os impactos ambientais associados à extração e transporte desses materiais. Essas práticas não só contribuem para a sustentabilidade ambiental, mas também podem gerar economia de custos e aumentar a eficiência dos processos construtivos. Em resumo, uma gestão eficaz dos resíduos da construção civil é fundamental para mitigar impactos ambientais e promover a sustentabilidade no setor. A presente pesquisa tem como finalidade a análise física do agregado graúdo reciclado de concreto da região da Grande Vitória – ES para uso em concreto estrutural, bem como a exposição dos seus resultados e opções para otimização dos mesmos.

Palavras-chave: Resíduos; Demolição; Sustentabilidade; Concreto.

ABSTRACT: The management of waste generated by the construction industry presents an increasingly significant challenge due to the substantial rise in solid waste production, making construction one of the largest producers of urban waste and negatively impacting the environment through pollution and destruction of natural

¹ Graduando em engenharia civil – UNISALES. Vitória/ES, Brasil. E-mail: alisoncarlos159@gmail.com

² Professor orientador – UNISALES, Vitória/ES, Brasil. E-mail: fcarvalho@salesiano.br

areas. Waste management involves concepts and principles such as reduction, reuse, and recycling of materials, aiming to minimize the amount of waste generated and promote sustainable practices. On construction sites, environmental management is crucial to ensure the proper disposal of waste and to implement practices that reduce environmental impact. Solid waste environmental legislation, such as Brazil's National Solid Waste Policy, establishes guidelines for proper waste management, promoting shared responsibility between waste generators and public authorities. Circular economy principles, essential for sustainability in the construction sector, encourage the reuse of materials, transforming waste into new resources and minimizing dependence on the extraction of natural resources. The use of recycled concrete aggregate exemplifies the application of circular economy practices, reducing the demand for natural aggregates and mitigating the environmental impacts associated with the extraction and transportation of these materials. These practices not only contribute to environmental sustainability but can also reduce costs and increase efficiency in construction processes. In summary, effective management of construction waste is critical to mitigating environmental impacts and promoting sustainability in the sector. This research aims to conduct a physical analysis of recycled coarse concrete aggregate from the Grande Vitória region in Espírito Santo (ES) for use in structural concrete, as well as to present its results and options for optimization.

Keywords: Waste; Demolition; Sustainability; Concrete.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o crescimento populacional desordenado, as altas densidades demográficas nos centros urbanos e o desenvolvimento econômico mundial são fatores principais que contribuem para o aumento da geração de resíduos sólidos na construção. Embora a construção civil, uma das principais responsáveis pela geração de resíduos sólidos urbanos, esteja buscando soluções eficientes para reduzir os danos ambientais, essa prática ainda não é amplamente adotada por todas as empresas de engenharia civil (Gradin; Costa, 2009).

Segundo Filho (apud Grandin; Costa, 2009) o descarte inadequado de resíduos sólidos nas cidades resulta na destruição da vegetação ciliar ao longo de rios e córregos, na poluição visual, na proliferação de vetores de doenças e na possível contaminação dos lençóis freáticos.

É essencial distinguir entre a gestão e o gerenciamento dos resíduos de construção e demolição (RCD). A gestão abrange um processo amplo que envolve políticas públicas e leis direcionando a atuação dos agentes do setor. Em contraste, o gerenciamento foca nas atividades operacionais diárias e no manejo direto dos resíduos, abordando as ações dos empreendedores e construtores para prever, controlar e administrar a manipulação dos resíduos em suas obras (Nagalli, 2014).

Neste aspecto, o conceito de gerenciamento de resíduos ainda caminha a passos curtos e ainda é tratado como uma novidade por grande parte da população e empresas, a mão de obra não é especializada para implementar um sistema eficaz de gerenciamento de resíduos, criando assim, dificuldades para se adequar aos processos de preservação e reutilização do que antes era considerado descartável (Nagalli, 2014).

A destinação correta dos resíduos está diretamente relacionada ao encerramento ou renovação do ciclo de vida dos materiais, tendo em vista que as obras de construção são notórias por serem grandes geradoras de entulho e resíduos.

A adoção de práticas adequadas de gestão de resíduos ajuda a diminuir o volume de materiais descartados de forma inadequada em aterros sanitários, minimizando assim os impactos negativos sobre o ar, o solo e a água. Além disso, a separação e a destinação correta possibilitam a identificação e a reciclagem de materiais, promovendo a economia de recursos naturais e a diminuição da demanda por novas matérias-primas.

O gerenciamento dos resíduos de construção e demolição (RCD) é de grande relevância levando em conta o grande volume de resíduos gerado na área das obras civis e o impacto causado pelo descarte indevido desse material, principalmente por ser um setor que produz uma grande quantidade de resíduos classificados como tóxicos ou perigosos que contaminam o solo, água e podem ser nocivos à saúde dos seres vivos.

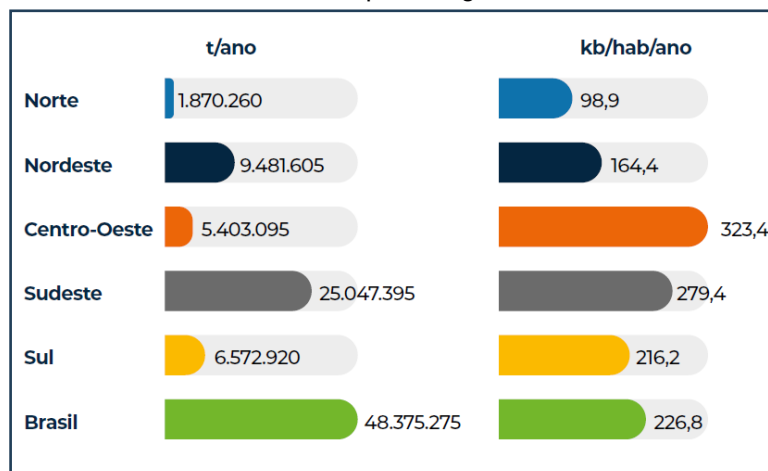
Para controlar a essa demanda temos a resolução Conama 307/2002 que vem para estabelecer normas, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos da construção civil a grandes e pequenas empresas geradoras de resíduos e aos municípios para que implementem de um plano de gestão dos resíduos gerados pela construção civil.

O objetivo geral deste artigo é avaliar o potencial do agregado reciclado de concreto da região da Grande Vitória – ES como uma alternativa viável para utilização na construção civil, com foco principal em sua aplicação em concretos estruturais. Para isso, busca-se compreender as limitações e possibilidades do material em relação aos padrões normativos e às exigências técnicas, contribuindo para o desenvolvimento de práticas mais sustentáveis e econômicas no setor, ademais, os objetivos específicos são a verificação de usos alternativos para o agregado, realização de visitas a empresas inseridas nos sistemas de gerenciamento sustentável, tipificação dos resíduos e seus perigos quanto à sua utilização e descarte e identificação dos problemas do material que impeçam o seu uso em concretos estruturais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Levantamentos recentes mostram que a procura por agregados da construção civil devem aumentar de 45 bilhões de toneladas para 66 bilhões de toneladas nos anos de 2017 a 2025 (Silva *et al.*, 2019). No ano de 2021, os municípios brasileiros coletaram mais de 48 milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição (RCD). A média per capita foi de aproximadamente 227kg anuais, com boa parte desse volume consistindo em materiais abandonados em vias públicas. A região Sudeste respondeu por mais de 50% da coleta total no país como mostrado no gráfico 1 (ABRELPE, 2022, p.30).

Gráfico 1 - Coleta de RCD pelas regiões do Brasil em 2021



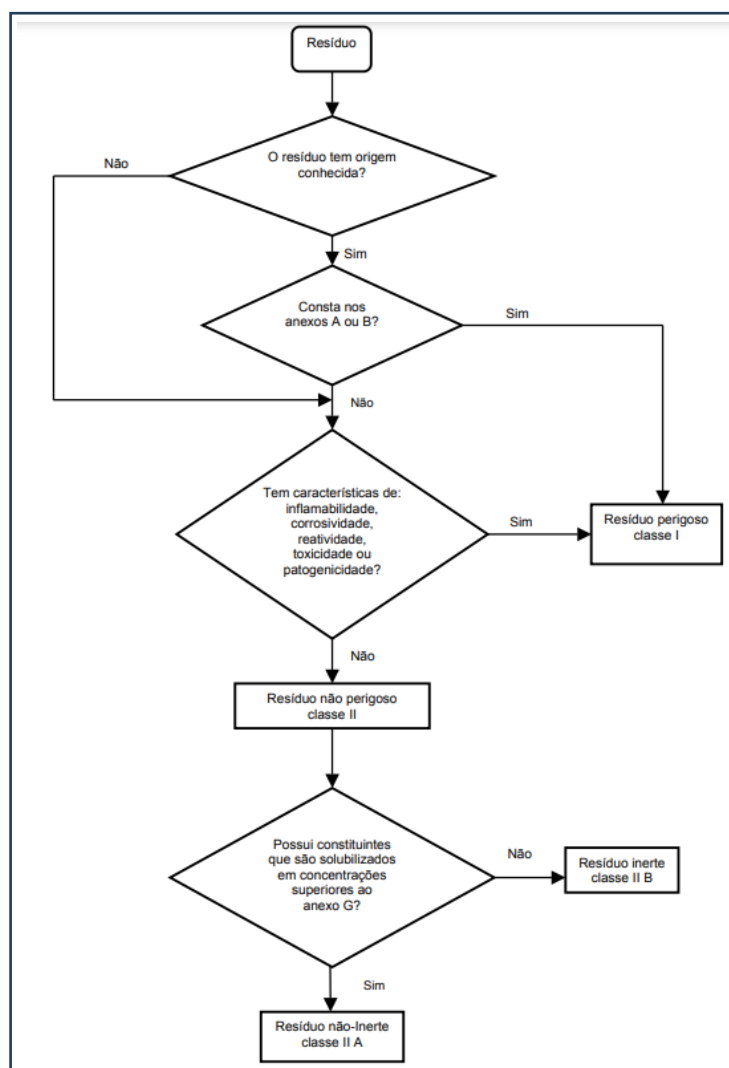
Fonte: ABRELPE 2022

A cerca desse tema convém discorrermos sobre os conceitos e princípios da gestão de resíduos.

2.1 CONCEITOS E PRINCÍPIOS DA GESTÃO DE RESÍDUOS

A princípio a NBR 10004:2004 dispõe acerca da classificação de resíduos sólidos com base em seus potenciais riscos ambientais e à saúde pública, garantindo um gerenciamento apropriado. A regulamentação categoriza os resíduos como perigosos e não perigosos, sendo os não perigosos subdividido em inertes e não inertes. Os resíduos são considerados perigosos quanto a sua inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade (ABNT, 2004). A figura 1 demonstra o fluxograma de classificação dos resíduos sólidos.

Figura 1: Caracterização e classificação de resíduos sólidos



Fonte: ABNT NBR 10004:2004

Quanto aos resíduos provenientes da construção civil a Resolução 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) define como materiais descartados durante construções, reformas, reparos ou demolições da construção civil e os materiais resultantes de escavações de terreno. Esses são categorizados em 4 classes de resíduos.

Classe A – São resíduos que podem ser reutilizados como agregados, tais como materiais provenientes de construção, demolição e reforma de infraestruturas, componentes cerâmicos, resíduos de argamassa ou concreto;

Classe B – São materiais recicláveis que podem ser destinados a diferentes finalidades, como madeira, plástico, vidro, gesso e metais;

Classe C – São resíduos cuja reciclagem não é possível por consequência das tecnologias ou custos;

Classe D – São resíduos tóxicos e nocivos à saúde como tintas, solventes, óleos, amianto ou materiais provenientes de construção e reforma de clínicas radiológicas (CONAMA, 2002).

Quanto a destinação dos resíduos o CONAMA também destina conforme a sua classificação mostrado no quadro 1.

Quadro 1: Destinação dos RCD

Classe A	Deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados ou encaminhados a aterro de resíduos classe A de reservação de material para usos futuros. (nova redação dada pela Resolução 448/12)
Classe B	Deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura.
Classe C	Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.
Classe D	Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas. (nova redação dada pela Resolução 448/12)

Fonte: CONAMA 2002

2.2 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL

O Conselho Nacional do Meio Ambiente estabelece que os planos de Gestão de resíduos devem ser implementados por lei em cada município do Brasil obedecendo a hierarquia de leis nacionais e estaduais. No âmbito nacional a lei que institui o Plano Nacional de Resíduos Sólidos é a lei Nº 12.305 de 2010 que estabelece os princípios, objetivos e instrumentos, além das orientações sobre a gestão integrada e o gerenciamento de resíduos sólidos, abrangendo materiais perigosos, obrigações dos geradores e do poder público, além dos instrumentos econômicos disponíveis (Brasil, 2010).

No âmbito estadual a lei nº 9.264 de 2009 estabelece a Política Estadual de Resíduos Sólidos, delineando princípios, fundamentos, objetivos, diretrizes e instrumentos destinados à Gestão Integrada, Compartilhada e Participativa de Resíduos Sólidos. O objetivo da norma é promover a redução, reutilização e o manejo adequado dos resíduos sólidos; prevenir e controlar a poluição; proteger e recuperar a qualidade ambiental; além de fomentar a saúde pública. Ademais, busca assegurar o uso sustentável dos recursos naturais no Estado do Espírito Santo, fomentar o econegócio e incentivar a adoção de práticas de produção mais limpa (Espírito Santo, 2009).

2.3 ECONOMIA CIRCULAR E SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Atualmente, o conceito de economia circular está sendo aprimorado com o objetivo de integrar cada vez mais o ciclo de vida, visando a redução do desperdício e a maior reutilização dos materiais. Esse conceito representa uma mudança de paradigma em

relação ao modelo tradicional de produção, consumo e descarte, promovendo uma abordagem mais sustentável que inclui a reutilização e reciclagem dos recursos (Akanbi *et al.*, 2018).

Segundo a empresa multinacional Arup (2016), o gerenciamento de resíduos com foco na economia circular tem como objetivo reduzir a produção de resíduos nas fases de construção e desconstrução, além de minimizar o uso de novas matérias-primas na fabricação de materiais. Planejar a geração de resíduos desde o início, integrando o design, a construção e a demolição, promove um fluxo circular de recursos entre as indústrias, os canteiros de obras e as edificações.

Em um cenário de competitividade crescente, torna-se indispensável desenvolver uma produção mais sustentável. Na construção civil, a sustentabilidade visa não apenas reduzir o desperdício de materiais, mas também implementar ações que diminuam custos e insumos, além de promover o reaproveitamento e o uso inteligente dos recursos naturais. Essas práticas são fundamentais para impulsionar o desenvolvimento econômico, regional e social. Para que os objetivos de sustentabilidade sejam alcançados de forma eficaz, é necessário incorporar seus princípios desde a concepção do projeto (Roque; Pierre, 2019).

Segundo a fundação Ellen MacArthur Foundation (2016), economia circular é, por princípio, restaurativa e regenerativa. A proposta é preservar a máxima utilidade e valor de produtos, componentes e materiais pelo maior período viável, diferenciando os ciclos técnicos dos biológicos. Este modelo econômico inovador busca, em última instância, separar o crescimento econômico mundial da dependência de recursos não renováveis. A economia circular aborda desafios de recursos enfrentados por empresas e países, podendo gerar crescimento econômico, criar empregos e reduzir os impactos ambientais, incluindo as emissões de Carbono.

2.4 AGREGADO RECICLADO DE CONCRETO

Os resíduos de demolição de concreto são bem reutilizados como agregado, principalmente o concreto que cumpre função estrutural como o concreto de vigas, pilares e lajes. Chamados de Agregado Reciclado de Concreto (ARCO) é obtido após as etapas de demolição, triagem, britagem e peneiramento do concreto sem contaminação (Angulo; Ulsen, 2023)

As vantagens da utilização do concreto reciclado, que é o concreto produzido com agregados reciclados, em relação ao concreto convencional são o seu custo menor para sua produção, a redução de uso de matéria prima natural, é produzido com um material abundante na sociedade que são os entulhos de concreto da classe A e o concreto reciclado é mais leve o que ajuda no seu dimensionamento por diminuir o peso próprio da peça estrutural ou não estrutural (Da Silva, 2021)

A ABNT NBR 15116 de 2021 normatiza os requisitos e métodos de ensaio dos agregados para utilização em concretos e argamassas. A mesma atualizou a norma publicada em 2004 onde não era permitido o uso de agregado reciclado em concretos estruturais, agora é permitido pela norma contanto que sejam respeitadas as devidas recomendações da norma (Gomes, 2021).

Também segundo Gomes de acordo com as normatizações atuais, foi possível desenvolver tecnologias que utilizam concretos com agregados reciclados em novas construções, como exemplo na figura 2 (2021).

Figura 2 - Aplicabilidade de agregados reciclados em concretos estruturais



Fonte: Gomes, 2021

Atualmente, o uso de agregado reciclado de resíduos de construção e demolição (RCD) é essencial para a construção civil, setor que lidera o consumo de matérias-primas entre as indústrias. O concreto, o material industrial mais consumido pelo homem, é composto de cimento e agregados, que são matérias-primas não renováveis, apesar de serem abundantes no planeta. Em 2010, segundo dados do Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC), foram consumidas 60 milhões de toneladas de cimento no Brasil (Angulo; Figueiredo, 2011).

2.5 APLICABILIDADE

A crescente preocupação com a sustentabilidade na construção civil tem incentivado a busca por alternativas que minimizem o impacto ambiental. A utilização de agregados reciclados provenientes de partículas de concreto demolido, destaca-se como uma solução promissora, oferecendo benefícios econômicos, sociais e ambientais. A atualização da norma ABNT NBR 15116:2021 foi um marco importante, viabilizando a aplicação desses agregados em concretos com função estrutural, além de concretos sem função estrutural, ampliando sua aplicabilidade no setor (Campos, 2023).

Esses resíduos, quando processados, podem substituir parcialmente ou integralmente os agregados naturais, reduzindo a extração de recursos naturais e o volume de resíduos destinados a aterros sanitários. Essa prática, além de preservar as reservas naturais, também diminui custos de transporte e deposição de resíduos,

especialmente em grandes centros urbanos, onde a extração de materiais primários está cada vez mais distante (Coelho, 2000).

O reaproveitamento de resíduos de concreto é amplamente estudado em países europeus, onde as restrições ambientais e a escassez de materiais primários incentivaram o desenvolvimento de tecnologias e regulamentações específicas. Universidades como a Delft University of Technology e instituições como o TNO têm demonstrado a viabilidade técnica e econômica do uso de agregados reciclados, especialmente em aplicações estruturais e não-estruturais, promovendo uma economia circular e gerando empregos no setor de reciclagem (Carrijo *apud* John, 2000).

No contexto brasileiro, a falta de regulamentações claras e uniformes ainda é um desafio para a ampliação do uso de agregados reciclados. Contudo, iniciativas como o Manual de Aplicação do Agregado Reciclado (MARE), elaborado por Sérgio Cirelli Angulo, fornecem orientações técnicas e práticas para a aplicação desse material em diferentes contextos, desde a produção de concreto estrutural até a pavimentação e preenchimento de solo, demonstrando sua versatilidade em tantos diferentes usos e finalidade (Angulo, 2023).

Portanto, a aplicabilidade do agregado reciclado de concreto na construção civil é uma alternativa viável e sustentável, com potencial para transformar a gestão de resíduos e a cadeia produtiva do setor. Apesar dos desafios normativos e logísticos, o avanço das pesquisas e a disseminação de boas práticas, como as propostas no MARE, são passos fundamentais para a consolidação dessa prática no mercado brasileiro e internacional (Angulo, 2023).

3 METODOLOGIA

A metodologia adotada para esta pesquisa será de natureza experimental, com caráter exploratório e laboratorial, visando avaliar a viabilidade técnica do uso de agregados graúdos reciclados de concreto. O estudo foi desenvolvido em três etapas principais: revisão bibliográfica, caracterização dos agregados reciclados e análise experimental do material e do concreto fabricado com esses materiais. Inicialmente, será realizada uma pesquisa bibliográfica abrangente para fundamentar teoricamente o estudo. Serão consultadas obras acadêmicas, artigos científicos, normas técnicas e documentos oficiais que abordam o gerenciamento de resíduos da construção civil, práticas de reciclagem de concreto, sustentabilidade e o uso de agregados reciclados.

Esse levantamento fornecerá uma base sólida para entender as propriedades e desafios do uso de agregados reciclados no concreto. Para a parte experimental, foram obtidos agregados graúdos reciclados a partir de resíduos de concreto provenientes de demolições diversas da empresa AB Soluções Ambientais localizada no município de Vila Velha - ES. Após a aquisição do material, foram realizados diversos ensaios no laboratório de engenharia civil do Centro Universitário Salesiano.

No primeiro dia foi realizado o ensaio de presença de materiais indesejáveis, conforme o anexo A da NBR 15116:2021 que consistiu em uma análise visual para identificar possíveis contaminantes, tais como fragmentos de materiais cerâmicos, metais ou outros resíduos indesejados. No segundo dia foi realizado o ensaio da análise da composição granulométrica, conforme a NBR 17054:2022, com o objetivo de avaliar

a adequação do material quanto à sua distribuição e classificação granulométrica. Por fim, no último dia, foram realizados o ensaio de teor de argila em torrões, segundo a NBR 7218:2010, que avaliou a presença de argila e materiais friáveis no agregado, o ensaio de densidade e absorção, segundo a NBR 16917:2021 que mediu a capacidade do agregado de absorver água e determinou sua porosidade e o ensaio de teor de finos, de acordo com a NBR 16973:2021, que visou quantificar a presença de partículas finas no agregado reciclado, pois a quantidade excessiva dessas partículas pode influenciar a trabalhabilidade e a resistência do concreto.

O quadro 2 sintetiza os ensaios em um cronograma.

Quadro 2: Cronograma de ensaios

NORMA	ENSAIO	DATA	APARELHAGEM
NBR 15116:2021 (anexo A)	Materiais indesejáveis	07 de nov. de 2024	Balança, estufa, peneira metálica 4,8mm, bandeja metálica para secagem
NBR 17054:2022	Granulometria	14 de nov. de 2024	Balança, estufa, peneiras (série normal e intermediária) com tampa e fundo, bandejas metálicas, escova ou pincel de cerdas macias
NBR 16917:2021	Densidade e absorção de água	18 de nov. de 2024	Balança (normal e uma capaz de determinar a massa da amostra submersa), cesto de arame com abertura aproximada de 1 a 3mm, tanque de água, peneira 4,75 e 75mm, estufa e bandejas metálicas
NBR 16973:2021	Teor presença de finos	21 de nov. de 2024	Balança, peneiras 75µm e 1,18mm, estufa, 2 recipientes de vidro de mesmo tamanho e forma
NBR 7218:2010	Teor de argila em torrões	21 de nov. de 2024	Balança, estufa, peneiras da série normal com tampa e fundo (75, 37.5, 19, 9.5, 4.75, 2.36 e 1.18mm), bandejas metálicas

Fonte: Autor

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir será discorrido sobre os procedimentos realizados e os resultados obtidos de cada ensaio.

4.1 DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO DOS AGREGADOS RECICLADOS GRAÚDOS POR ANÁLISE VISUAL

O procedimento realizado para a análise visual de agregado gráúdo reciclado de concreto, fundamentado na NBR 15116 de 2021. Este ensaio se concentra na avaliação da qualidade e na identificação de materiais indesejáveis presentes no agregado reciclado de concreto, com o objetivo de verificar sua adequação para o uso em aplicações na construção civil.

4.1.1 Procedimento

Inicialmente, foi realizada a preparação da amostra de acordo com as orientações estabelecidas na norma. Como o material em questão possui partículas com dimensões entre 9,5 mm e 19 mm, foi utilizada uma amostra de 10,01 kg, quantidade maior que a mínima recomendada pela NBR 15116:2021 para materiais com essa granulometria conforme a tabela 1.

Tabela 1: Massa mínima exigida para a amostra do ensaio

Tamanho nominal do agregado mm	Amostra de campo kg	Amostra de ensaio kg
< 4,8	40	1
> 4,8 < 9,5	40	5
> 9,5 < 19	40	10

Fonte: ABNT NBR 15116:2021

A amostra foi submetida a um processo de secagem em estufa, permanecendo em temperatura constante por 24 horas, a fim de garantir a ausência de umidade residual que pudesse interferir na avaliação visual.

O procedimento do ensaio consistiu na inspeção visual da amostra de agregado reciclado de concreto, com o intuito de identificar e separar manualmente materiais indesejáveis, como fragmentos madeira, vidro, plástico, e outras impurezas que poderiam comprometer a qualidade e o desempenho do agregado em aplicações estruturais. A inspeção foi realizada no laboratório com um ambiente bem iluminado, permitindo uma observação detalhada de cada partícula, assegurando que os contaminantes fossem isolados e quantificados conforme exigido pela norma.

4.1.2 Resultados

Os resultados da análise visual do agregado reciclado de concreto revelaram uma variedade de fragmentos indesejáveis, cuidadosamente separados e classificados em diferentes grupos de acordo com a composição e características de cada fragmento. Foram encontrados materiais como granito, partes de blocos cerâmicos, pregos, plásticos, madeira, gesso, cerâmica, material betuminoso (asfalto), material orgânico e alguns materiais não identificados (figura 3).

Figura 3: Materiais separados



Fonte: Autor

Para organização dos resultados, os materiais foram classificados nos seguintes grupos estabelecidos pela norma:

Grupo G1: fragmentos com mais de 50% de seu volume composto por massa de cimento, onde foram considerados todos os fragmentos do agregado reciclado, totalizando 8.645,2g, o que representa 86,37% da amostra.

Grupo G2: materiais com mais de 50% de seu volume composto por rocha, onde foram considerados os fragmentos de granito, somando 125,1g, equivalente a 1,25% do total da amostra.

Grupo G3: fragmentos de cerâmica vermelha com superfície não esmaltada, onde foram considerados os fragmentos de bloco cerâmico, totalizando 333,4g, ou 3,33% da amostra.

Grupo G4: fragmentos de materiais indesejáveis de natureza orgânica e inorgânica, onde foram considerados os fragmentos de pregos, plásticos, madeira, gesso, cerâmica, material betuminoso (asfalto), material orgânico e alguns materiais não identificados, totalizando 906,3g, que representa 9,05% da amostra. Resumidamente na tabela 2.

Tabela 2: Planilha de resultados da análise visual de materiais indesejáveis

DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO DOS AGREGADOS GRAÚDOS POR ANÁLISE VISUAL (NBR 15116:2021 - ANEXO A)					
MATERIAL	GRUPO	MASSA (g)	%	LIMITE (%)	C ou NC
Agregado reciclado	G1	8645,2	86,37%	-	-
Granitos	G2	125,1	1,25%	-	-
Bloco cerâmico	G3	333,4	3,33%	0%	NC
Materiais não identificados Pregos Plásticos Madeira Gesso Cerâmica Material betuminoso Material orgânico	G4	906,3	9,05%	1%	NC

Fonte: Autor

Ao comparar os resultados com os requisitos mínimos estabelecidos pela NBR 15116:2021, verifica-se que o material não atende aos limites de qualidade estipulados. A norma especifica uma tolerância de 0% para o grupo G3 e um limite máximo de 1% para o grupo G4, ambos excedidos na presente amostra.

O agregado reciclado de concreto analisado contém uma quantidade significativa de materiais indesejáveis, o que se deve à ausência de um processo rigoroso de separação e triagem. O material é proveniente diretamente de demolições e armazenado no pátio da empresa sem uma triagem específica, o que resulta na presença de materiais inapropriados para uso em concreto estrutural. A utilização de tais agregados, sem prévia purificação, compromete a qualidade e a resistência do concreto, afetando diretamente a sua durabilidade e segurança em aplicações na construção civil.

4.2 DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA

Este procedimento é fundamentado na NBR 17054:2022 e teve como objetivo determinar a distribuição granulométrica do material, possibilitando a análise de sua adequação e características em aplicações na construção civil.

4.2.1 Procedimento

A preparação do material foi realizada conforme especificado pela norma, que exige uma massa mínima de 5 kg para agregados com dimensão máxima nominal de 19 mm, como no caso do agregado analisado (brita 1). Foram utilizadas duas amostras: a primeira com massa $m_1 = 5058,1\text{g}$ e a segunda com $m_2 = 5014,4\text{g}$. Ambas as amostras foram secas em estufa por 24 horas para garantir a eliminação de qualquer umidade que pudesse interferir no ensaio.

Após a preparação, o material foi submetido ao peneiramento manual, utilizando todas as peneiras da série normal e intermediária especificadas pela norma. A cada etapa de peneiramento, foi anotada a massa do material retido em cada peneira, permitindo a elaboração de tabelas para análise dos resultados.

Os dados obtidos do ensaio estão organizados conforme a tabela 3 e tabela 4.

Tabela 3: Material retido da 1ª amostra

PENEIRAS	MASSA RETIDA (g)	% RETIDA	% RETIDA ACUMULADA
75 mm	0,0	0,0%	0%
63 mm	0,0	0,0%	0%
50 mm	0,0	0,0%	0%
37,5 mm	0,0	0,0%	0%
31,5 mm	0,0	0,0%	0%
25 mm	0,0	0,0%	0%
19 mm	1429,3	28,3%	28%
12,5 mm	2251,5	44,5%	73%
9,5 mm	714,6	14,1%	87%
6,3 mm	268,6	5,3%	92%
4,75 mm	46,4	0,9%	93%
2,36 mm	59,8	1,2%	94%
1,18 mm	39,1	0,8%	95%
600 μm	47,0	0,9%	96%
300 μm	63,4	1,3%	97%
150 μm	76,0	1,5%	99%
FUNDO	60,0	1,2%	100%
TOTAL	5055,7	100,0%	

Fonte: Autor

Tabela 4: Material retido da 2ª amostra

PENEIRAS	MASSA RETIDA (g)	% RETIDA	% RETIDA ACUMULADA
75 mm	0,0	0,0%	0%
63 mm	0,0	0,0%	0%
50 mm	0,0	0,0%	0%
37,5 mm	0,0	0,0%	0%
31,5 mm	0,0	0,0%	0%
25 mm	0,0	0,0%	0%
19 mm	1497,1	29,9%	30%
12,5 mm	1748,5	34,9%	65%
9,5 mm	722,8	14,4%	79%
6,3 mm	241,1	4,8%	84%
4,75 mm	56,8	1,1%	85%
2,36 mm	83,7	1,7%	87%
1,18 mm	78,4	1,6%	88%
600 µm	108,1	2,2%	90%
300 µm	147,2	2,9%	93%
150 µm	168,1	3,4%	97%
FUNDO	159,0	3,2%	100%
TOTAL	5010,8	99,9%	

Fonte: Autor

A diferença, a média das massas retidas e a média acumulada entre as duas amostras estão expressas na tabela 5.

Tabela 5: Diferença, média e média acumulada das massas retidas

PENEIRAS	DIFERENÇA DE % RETIDO	% MÉDIA RETIDA	% MÉDIA ACUMULADA
75 mm	0%	0%	0%
63 mm	0%	0%	0%
50 mm	0%	0%	0%
37,5 mm	0%	0%	0%
31,5 mm	0%	0%	0%
25 mm	0%	0%	0%
19 mm	2%	29%	29%
12,5 mm	10%	40%	69%
9,5 mm	0%	14%	83%
6,3 mm	1%	5%	88%
4,75 mm	0%	1%	89%
2,36 mm	0%	1%	91%
1,18 mm	1%	1%	92%
600 µm	1%	2%	93%
300 µm	2%	2%	95%
150 µm	2%	2%	98%
FUNDO	2%	2%	100%

Fonte: Autor

Conforme a NBR 17054:2022, a diferença entre a massa inicial da amostra e a soma das massas retidas em todas as peneiras e no fundo deve ser inferior a 0,3%. Este limite foi atendido em ambas as amostras, demonstrando a consistência do processo de peneiramento.

Adicionalmente, a norma também estabelece que a diferença entre os materiais retidos em cada peneira nas duas amostras não deve exceder 4%. Esse critério foi atendido em quase todas as peneiras, com exceção da peneira de 12,5 mm, na qual foi observada uma diferença de 10% entre as massas retidas.

Essa discrepância na peneira de 12,5 mm pode ser atribuída à má homogeneidade do material antes do ensaio, o que comprometeu a uniformidade das amostras. Apesar disso, considerando as limitações de tempo do autor para repetir o ensaio, bem como o caráter didático desta pesquisa, optou-se por dar prosseguimento ao estudo. Acredita-se que essa diferença não terá impacto significativo na sequência do trabalho e nos resultados finais da pesquisa.

4.2.2 Resultados

Os resultados do ensaio granulométrico permitiram calcular parâmetros essenciais para a caracterização do agregado reciclado analisado, como o módulo de finura, a dimensão máxima característica e a classificação na zona granulométrica onde os limites são estipulados na NBR 7211 de 2022.

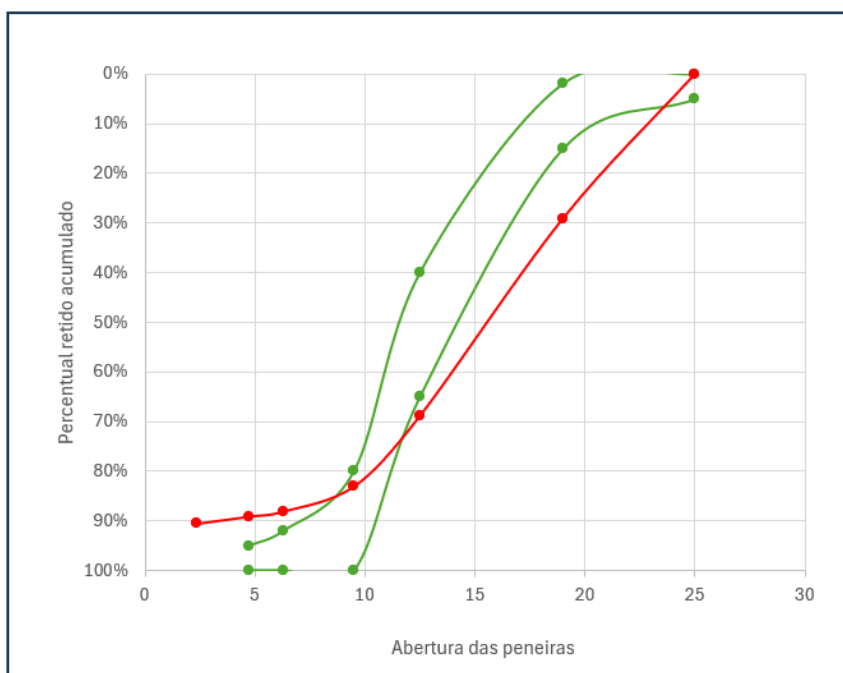
O módulo de finura do agregado foi obtido somando as porcentagens retidas acumuladas nas peneiras da série normal, dividindo o resultado por 100. O valor calculado foi de 6,70. Este parâmetro, que reflete a uniformidade e o tamanho médio das partículas. O resultado não atende ao intervalo estipulado pela norma para a zona granulométrica 9,5/25mm, que varia de 6,77 a 7,15, indicando que o agregado apresenta um módulo de finura abaixo do esperado.

A dimensão máxima característica do agregado foi determinada a partir da distribuição granulométrica. Esse parâmetro corresponde à abertura nominal da peneira, em milímetros, em que o agregado apresenta uma retenção acumulada igual ou menor que 5%. No presente ensaio, foi obtida uma dimensão máxima característica de 25 mm, pois essa peneira reteve 0% do material, enquanto a peneira de 19 mm reteve 29%, excedendo o limite de 5%.

Embora a norma indique a dimensão máxima característica de 25 mm, comercialmente o material é classificado como um agregado com dimensão máxima de 19 mm, conhecido como brita 1, já que não apresenta partículas iguais ou superiores a 25 mm.

A curva granulométrica, elaborada a partir dos resultados do ensaio, levou em consideração o material retido acumulado nas peneiras de 2,36 mm a 25 mm (gráfico 1).

Gráfico 2: Curva granulométrica



Fonte: Autor

Observou-se que o agregado ficou dentro da zona utilizável apenas na peneira de 9,5 mm, enquanto nas demais peneiras os resultados não atenderam aos limites de distribuição granulométrica estipulados pela norma conforme a tabela 6.

Tabela 6: Limites inferior e superior

Peneira com abertura de malha	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	9,5/25		4,75/12,5	
	inferior	superior	inferior	superior
25	0%	5%	-	-
19	2%	15%	-	-
12,5	40%	65%	0%	50%
9,5	80%	100%	2%	15%
6,3	92%	100%	40%	65%
4,75	95%	100%	80%	100%
2,36	-	-	95%	100%

Fonte: ABNT 7211:2022

A distribuição granulométrica, a dimensão máxima característica e o módulo de finura são parâmetros fundamentais para avaliar o desempenho do agregado em aplicações práticas. Esses indicadores influenciam diretamente a trabalhabilidade, compacidade e resistência dos concretos e argamassas, sendo cruciais para garantir a qualidade e a conformidade dos materiais com os requisitos normativos.

Os resultados obtidos indicam que o agregado reciclado, na sua forma atual, não atende plenamente às exigências da norma. Contudo, esses valores podem ser ajustados para atender aos requisitos, mediante a mistura do material analisado com outros agregados naturais ou reciclados de diferentes tamanhos, conforme a

necessidade específica da aplicação. Essa estratégia permite não apenas a adequação do agregado às normas vigentes, mas também o aproveitamento eficiente de materiais reciclados, favorecendo práticas sustentáveis no setor da construção civil.

4.3 DENSIDADE E ABSORÇÃO DE ÁGUA

O presente relatório de ensaio visa descrever o procedimento realizado para a análise visual de agregado graúdo reciclado de concreto, fundamentado na NBR 16917 de 2021.

4.3.1 Procedimento

Inicialmente, a amostra foi preparada conforme os requisitos da norma, sendo submetida a um peneiramento na peneira de 4,75 mm para eliminar todo o material passante. Após esse processo, foi obtida uma amostra retida na peneira com massa igual ou superior a 4 kg, garantindo a representatividade mínima exigida.

Posteriormente, a amostra foi lavada em água corrente sobre a peneira de 4,75 mm com o objetivo de eliminar pó ou outros materiais aderentes à superfície dos grãos (figura 4).

Figura 4: Lavagem do material na peneira 4,75mm



Fonte: Autor

Após a lavagem, o material foi colocado em uma bandeja e coberto com água potável permanecendo nessa condição por 24h.

Decorrido esse tempo, a superfície de todo o material foi enxuta com pano para remover a umidade superficial. Nesta condição, a massa da amostra saturada superfície seca (m_b) foi determinada e obteve-se o valor de 6119,5g.

Na etapa seguinte, a amostra foi colocada em um cesto de arame para determinar sua massa submersa em água (m_c) tendo como resultado 3478,7g (figura 5).

Figura 5: Pesagem da amostra submersa em água



Fonte: Autor

Por fim, a amostra foi submetida à estufa por 24 horas para assegurar sua completa secagem e, em seguida, foi determinada a sua massa seca (m_a). O valor obtido nesta condição foi de 5719,6g.

4.3.2 Resultados

Os resultados do ensaio permitiram calcular parâmetros essenciais para avaliar a qualidade do agregado gráúdo reciclado. A densidade na condição seca (ρ_s) foi obtida por meio da fórmula: $\rho_s = \frac{M_a}{M_b - M_c}$, resultando em 2,17g/cm³, considerando que a diferença ($M_b - M_c$) equivale ao volume das partículas, conforme posto em nota na NBR 16917 de 2021. A densidade na condição saturada superfície seca (ρ_{sss}) foi calculada com a fórmula: $\rho_{sss} = \frac{M_b}{M_b - M_c}$, com resultado de 2,32g/cm³. A absorção de água (Abs), determinada pela fórmula: $Abs = \frac{M_b - M_a}{M_a} \times 100$, foi de 7,0%.

Esses valores são importantes para a produção de concretos, pois influenciam o peso das estruturas e a relação água/cimento. Comparado à brita 1 comercializada pelo site do material de construção Mundimat, com densidade de 2,64g/cm³, o agregado reciclado apresentou densidade inferior (2,17g/cm³), sendo potencialmente vantajoso para estruturas mais leves.

Em relação a absorção do material, a norma recomenda a pré-saturação dos agregados reciclados antes do uso em concretos, ajustando suas propriedades e reduzindo a absorção durante a mistura. Caso a pré-saturação não seja realizada, é necessário compensar a água absorvida pelo agregado no cálculo da mistura, assegurando que ela não seja considerada na relação água/cimento para evitar alterações indesejáveis na consistência e resistência do concreto.

4.4 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE ARGILA E MATERIAIS FRIÁVEIS

O ensaio para determinação da presença de argila e materiais friáveis no agregado reciclado de concreto foi realizado conforme os procedimentos descritos na NBR 7218 de 2010

4.4.1 Procedimento

Inicialmente, a amostra foi seca em estufa por 24 horas para garantir sua condição inicial apropriada para o ensaio. A norma estabelece que o procedimento deve ser realizado nos intervalos granulométricos em que a massa retida no ensaio granulométrico seja igual ou maior que 5%. No caso do material analisado, os intervalos que atenderam a esse critério foram: maior igual a 4,75mm e menor que 9,5mm; maior igual a 9,5mm e menor que 19mm; maior igual a 19mm e menor que 37,5mm.

As massas iniciais (m_i) de cada intervalo foram determinadas, obtendo-se os seguintes valores: $m_{i1} = 1007,0\text{g}$; $m_{i2} = 2029,2\text{g}$; $m_{i3} = 3029,5\text{g}$. Cada fração foi colocada em bandejas e coberta com água proveniente da rede de abastecimento, permanecendo submersa por 24 horas. Após esse período, as partículas, especialmente aquelas visualmente identificadas como possíveis torrões de argila, foram pressionadas entre os dedos para fragmentar e desfazer partículas friáveis.

Em seguida, cada fração foi peneirada por via úmida, utilizando água corrente, para remover as partículas de argila e outros materiais friáveis. Após o peneiramento, as amostras foram novamente submetidas à secagem em estufa por 24 horas, garantindo que toda a umidade fosse eliminada antes da determinação das massas finais (m_f). Os valores obtidos foram: $m_{f1} = 970,3\text{g}$; $m_{f2} = 1992,6\text{g}$; $m_{f3} = 2992,3\text{g}$.

4.4.2 Resultados

Com os dados obtidos no ensaio, foi possível calcular o teor de argila e materiais friáveis de cada intervalo granulométrico utilizando a fórmula: $m_t = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100$. Os resultados, expressos em porcentagem, foram: $m_{t1} = 1,2\%$, $m_{t2} = 1,8\%$ e $m_{t3} = 3,6\%$. O teor de argila parcial é calculado multiplicando esses valores pela porcentagem média retida de cada intervalo granulométrico respectivo resultando nos valores de $m_{p1} = 0,07\%$, $m_{p2} = 0,97\%$ e $m_{p3} = 1,04\%$. O teor total é a soma das parciais resultando em $m_{\text{total}} = 2,08\%$.

De acordo com a NBR 7211 de 2022, os limites aceitáveis para a presença de argila e materiais friáveis variam conforme o uso final do concreto (tabela 7).

Tabela 7: Valores máximos permitidos para substâncias prejudiciais presentes no agregado

Determinação	Método de ensaio		Quantidade máxima relativa à massa do agregado gráudo %
Torrões de argila e materiais friáveis	ABNT NBR 7218	Concreto aparente	1,0
		Concreto sujeito a desgaste superficial	2,0
		Outros concretos	3,0
Partículas leves	ABNT NBR 9936	Concreto aparente	0,5
		Concreto não aparente	1,0
Material fino que passa através da peneira 75µm por lavagem (material pulverulento)	ABNT NBR 16973		1,0

Fonte: ABNT NBR 7211:2022

O material não poderia ser empregado em concretos aparentes, onde o limite máximo permitido para o teor de argila e materiais friáveis é de 1%. Mas com o resultado de 2,08%, o agregado analisado seria adequado para utilização em outros concretos sem função estrutural.

A determinação desse teor é essencial para garantir a qualidade e durabilidade do concreto, uma vez que a presença excessiva de materiais friáveis pode comprometer a resistência mecânica, a aderência entre os componentes e a aparência do concreto. Para reduzir a quantidade de argila e materiais friáveis no agregado reciclado, podem ser adotadas medidas como a lavagem mais eficiente do material, triagem mais rigorosa durante a reciclagem e o uso de processos adicionais de purificação antes da aplicação no concreto.

4.5 DETERMINAÇÃO DO MATERIAL FINO QUE PASSA PELA PENEIRA DE 75µm POR LAVAGEM

O ensaio para determinação do material fino passante pela peneira de 75µm por lavagem foi realizado de acordo com as diretrizes da NBR 16973:2021.

4.5.1 Procedimento

Inicialmente, as amostras foram secas em estufa por um período de 24 horas para eliminar toda a umidade presente. Após o resfriamento das amostras à temperatura ambiente, as massas iniciais foram determinadas, resultando em $m_{i1} = 2512,2g$ e $m_{i2} = 2560,0g$.

As amostras foram então submetidas ao processo de lavagem. Para isso, a peneira de 1,18mm foi posicionada acima da peneira de 75µm, e as amostras foram dispostas na peneira superior. Um fluxo contínuo de água foi vertido sobre o conjunto de peneiras, assegurando que todo o material fino fosse carregado para a peneira de 75µm. A lavagem foi realizada até que a água escoada apresentasse aspecto límpido, indicando a remoção eficiente do material fino aderente (figura 6).

Figura 6: Aspecto da água na primeira e última lavagem



Fonte: Autor

Após o término da lavagem, o material retido na peneira de 75µm foi reincorporado à amostra principal. Em seguida, as amostras foram novamente secas em estufa por 24 horas. Após o resfriamento, as massas finais foram determinadas, obtendo-se $m_{f1} = 2353,7\text{g}$ e $m_{f2} = 2490,7\text{g}$.

4.5.2 Resultados

Os resultados do ensaio para determinação do material fino passante pela peneira de 75µm permitiram calcular a quantidade de finos presentes no agregado reciclado, utilizando a fórmula: $m = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100$. Para a primeira amostra, obteve-se $m_1 = 6,3\%$ e para a segunda, $m_2 = 2,7\%$. A média aritmética entre os valores resultou em 4,5%, indicando a quantidade final de material fino presente no agregado analisado.

De acordo com a NBR 7211 de 2022, o limite aceitável de material fino para agregados graúdos é de 1% (tabela 7). O resultado obtido demonstra que o material apresenta um teor de finos significativamente superior ao permitido, tornando-o inadequado para usos que exigem conformidade com esse requisito normativo.

A determinação do teor de material fino é essencial para avaliar a qualidade do agregado, pois uma quantidade excessiva pode impactar negativamente as propriedades do concreto, como a trabalhabilidade, a aderência da pasta e a resistência mecânica. A presença de material fino também pode aumentar a demanda de água na mistura, alterando a relação água/cimento e comprometendo o desempenho final do concreto.

Para reduzir a quantidade de materiais finos nos agregados reciclados, podem ser adotadas práticas como o peneiramento adicional do material, a lavagem mais rigorosa durante o preparo ou a combinação com agregados naturais de menor teor de finos. Essas medidas ajudam a adequar o material às exigências normativas, garantindo sua utilização em concretos de qualidade.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os ensaios realizados para análise física do agregado reciclado de concreto evidenciaram que, no estado em que é comercializado atualmente, o material não atende aos requisitos necessários para utilização em concretos com função estrutural.

As limitações observadas nos parâmetros avaliados comprometem a resistência e a durabilidade esperadas para estruturas de concreto que demandam alta performance. No entanto, o agregado reciclado apresenta potencial para aplicações em outros segmentos, especialmente onde a resistência não é um fator crítico.

Esse material pode ser utilizado, caso atenda aos requisitos específicos para cada fim, em obras de pavimentação, na execução de bases e sub-bases de estradas, pátios e garagens, além de aplicações em concretos não estruturais, como blocos canaletas, blocos de concreto e calçadas. Outras possibilidades incluem jardinagem, paisagismo e outras soluções que promovam sustentabilidade e reaproveitamento de resíduos.

Além de sua versatilidade em usos alternativos, o agregado reciclado apresenta um custo significativamente inferior ao agregado natural, o que representa uma vantagem econômica importante. Enquanto a brita 1 natural possui preço médio de R\$148,00

por metro cúbico, de acordo com preços obtidos nas lojas Pirâmides Construções, Santa Lúcia Materiais de Construção e Brutools Materiais de Construção, o agregado reciclado de concreto é comercializado pela empresa AB Soluções Ambientais por apenas R\$49,00 por metro cúbico, resultando em uma economia aproximada de 67% (preços analisados no dia 20 de novembro de 2024).

Portanto, embora o agregado reciclado de concreto não seja adequado para concretos estruturais, ele se mostra uma alternativa viável e econômica para outros fins, contribuindo para a redução de custos em obras e promovendo o uso sustentável de materiais de construção. Esse estudo reforça a necessidade de adequação dos processos de reciclagem para ampliar o uso desse material e atender às normas técnicas, potencializando ainda mais seus benefícios ambientais e econômicos.

6 AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pelo dom da inteligência, discernimento e moral que me foram concedidos. Sem Sua divina providência e orientação, a conclusão desta etapa em minha vida jamais seria possível.

À minha família, a base da minha vida e meu maior exemplo, expresso minha mais profunda gratidão. Agradeço especialmente aos meus pais, cuja luta diária para sustentar e educar seus filhos foi fundamental para que eu chegasse até aqui. Obrigado pelo amor, pelo apoio incondicional e pelos valores que me ensinaram.

Agradeço à minha namorada, Ana Julia Pazini, minha inspiração e felicidade diária. Você foi meu apoio constante, sempre ao meu lado nos momentos difíceis e nas celebrações. Obrigado pelas cobranças diárias para que eu estude e trabalhe sempre em busca da minha evolução. Eu te amo e sou eternamente grato pela sua vida.

Por fim, agradeço ao meu orientador e aos professores do curso de Engenharia Civil Noturno da Faculdade UniSales, que não são apenas mestres e doutores em suas áreas, mas também verdadeiros mestres na arte de ensinar. Sou grato pelo conhecimento que compartilharam e pela dedicação em formar novos engenheiros.

7 REFERÊNCIAS

AKANBI, Lukman A. et al. **Salvaging building materials in a circular economy**: A BIM-based whole-life performance estimator. *Resources, Conservation And Recycling*, [s.l.], v. 129, p.175-186, fev. 2018. Elsevier BV.
Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.026>>.

ANGULO, Sergio Cirelli; DE FIGUEIREDO, Antônio D. Concreto com agregados reciclados. In: TUTIKIAN, Bernardo et al. **Concreto**: ciência e tecnologia. 2ª ed. São Paulo: IBRACON. p. 1731-1767, 2011.

ÂNGULO, Sergio Cirelli et al. **MARE**: Manual de aplicação do agregado reciclado. São Paulo, 2023. Disponível em:
<<https://www.livrosabertos.abcd.usp.br/portaldelivrosUSP/catalog/view/1150/1053/3942>>. Acesso em. 20 de nov. de 2024.

ANGULO, Sergio Cirelli; ULSEN, Carina. **Resíduos de construção e demolição**: fundamentos sobre gestão e reciclagem. V.1. São Paulo, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15116**: Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland – Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT: 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16915**: Agregados - Amostragem. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16917**: Agregado graúdo - Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17054**: Agregados - Determinação da composição granulométrica - Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto - requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7218**: Agregados – Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 307, de 05 de julho de 2002.** Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.

BRUTOOLS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO. **Pedra Brita 1 a Granel - 1m³ - Pedrasil.** São Paulo – SP. Disponível em: <https://brutools.com.br/inicio/areia-pedra-e-agregados/2486-pedra-brita-1-a-granel-1m-pedrasil.html?srsId=AfmBOoof1XksF5xrggNnlc3HUDsHO2vT_MN4yTpW8-Pn3VWnrYhk0wza>. Acesso em: 20 de nov. 2024.

CAMPOS, Anselmo. **O uso de agregados reciclados no concreto estrutural.** São Carlos, 28 de ago. de 2023. Disponível em: <<https://www.prohabsaocarlos.com.br/2023/08/28/o-uso-de-agregados-reciclados-no-concreto-estrutural/#:~:text=A%20novidade%20da%20ABNT%20NBR,argamassa%2C%20cer%C3%A2mica%2C%20entre%20outros>>. Acesso em: 20 de nov. de 2024.

CARRIJO, Priscila Meireles. **Análise da influência da massa específica de agregados graúdos provenientes de resíduos de construção e demolição no desempenho mecânico do concreto.** Dissertação (mestrado em engenharia civil) – Escola politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-11052006-143829/publico/Dissertacao.pdf>>. Acesso em: 20 de nov. de 2024.

COELHO, Paulino E. **Reciclagem de entulho: o melhor ainda está por vir.** São Paulo, jun. de 2021. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/352863568_RECICLAGEM_DE_ENTULHO_o_melhor_ainda_esta_por_vir>. Acesso em: 20 de nov. de 2024.

DA SILVA, Guilherme Henrique R. **Concreto Reciclado.** 1ª ed., 2021. Disponível em: <<https://petcivluem.com/2021/12/09/concreto-reciclado/#more-5067>>. Acesso em: 25 de set. de 2024.

Ellen MacArthur Foundation (EMF). **Rumo à Economia Circular: o Racional de Negócio para Acelerar a Transição.** 2016.

ESPÍRITO SANTO. **Lei nº 9.264, de 16 de julho de 2009.** Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos e dá outras providências correlatas.

GOMES, Henrique Combra. **Agregados reciclados em concretos para a mitigação de impactos da indústria da construção civil.** 82 f. TCC (Graduação em Engenharia Civil) - Centro Federal De Educação Tecnológica De Minas Gerais, Varginha, 2021.

GONZALEZ, Edinaldo Favareto. **Aplicando 5s na construção civil**. 3. ed. Florianópolis: UFSC, 2017.

GRADIN, Antonio Marcel Nascimento; COSTA, Paulo Sérgio Nunes. **Reciclagem dos resíduos sólidos da construção civil**. 11 f. Artigo (graduação em engenharia civil) - Universidade Católica do Salvador, Salvador, 2009. Disponível em: <<https://www.conhecer.org.br/download/RESIDUOS/leitura%20anexa%202.pdf>>. Acesso em: 14 de outubro de 2024.

NAGALLI, André. **Gerenciamento De Resíduos Sólidos Na Construção Civil**. 1ª ed., São Paulo, 2014.

PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL, São Paulo: Grappa Marketing Editorial, 2022.

PIRÂMIDES CONSTRUÇÃO. **Pedra (brita 1) – a granel**. São Paulo – SP. Disponível em: <https://www.piramidesconstrucao.com.br/material-bruto/pedra-n1?srsId=AfmBOop00mXFU-YFSi78HzH15S-FEcYRzuPZnrO1H_IW6HrIWEnh8gr>. Acesso em: 20 de nov. 2024.

ROQUE, R. A. L.; PIERRI, A. C. **Intelligent use of natural resources and sustainability in civil construction**. Research, Society and Development, [S. l.], v. 8, n. 2, p. e3482703, 2019. DOI: 10.33448/rsd-v8i2.703. Disponível em: <<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/703>>. Acesso em: 12 jun. 2024.

SANTA LÚCIA MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO. **Pedra brita 1 a granel 1m³**. Curitiba – PR. Disponível em: < <https://www.santaluciamc.com.br/produtos/pedra-brita-1-a-granel-1m/>>. Acesso em: 20 de nov. 2024.

SILVA, R. V.; DE BRITO, J.; DHIR, R. K. **Use of recycled aggregates arising from construction and demolition waste in new construction applications**. Journal of Cleaner Production, 2019.

8 ANEXO

8.1 RELATÓRIO FOTOGRÁFICO - DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO DOS AGREGADOS RECICLADOS GRAÚDOS POR ANÁLISE VISUAL

Figura 7: Massa inicial da amostra



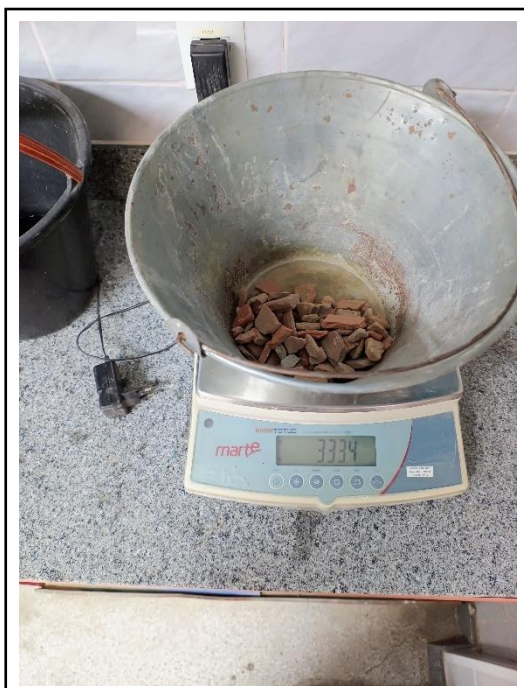
Fonte: Autor

Figura 8: Massa materiais G2



Fonte: Autor

Figura 9: Massa materiais G3



Fonte: Autor

Figura 10: Massa materiais G4



Fonte: Autor

8.2 RELATÓRIO FOTOGRÁFICO - DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA

Figura 11: Massa m_1



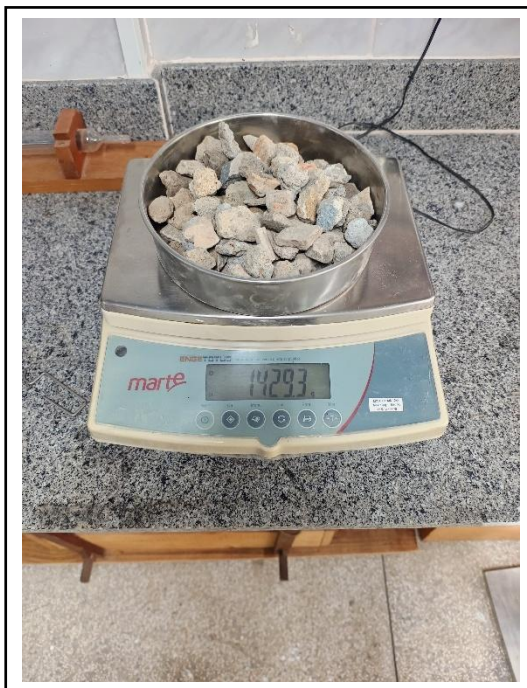
Fonte: Autor

Figura 12: Massa m_2



Fonte: Autor

Figura 13: Massa retida 19mm – 1ª amostra



Fonte: Autor

Figura 14: Massa retida 9,5mm – 1ª amostra



Fonte: Autor

Figura 15: Massa retida 6,3mm – 1ª amostra



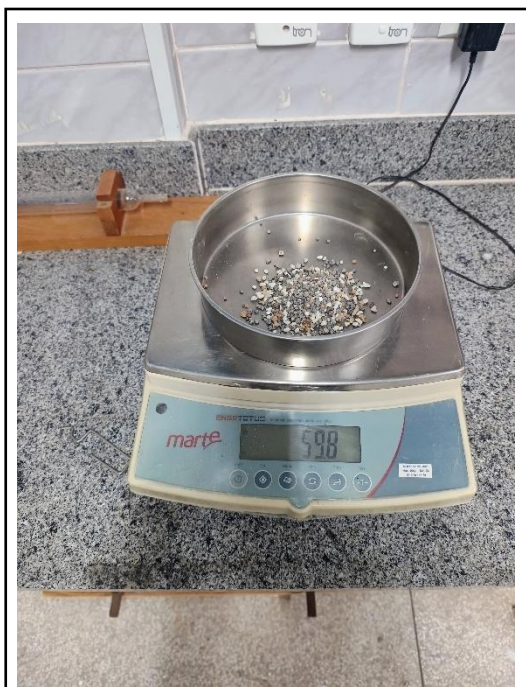
Fonte: Autor

Figura 16: Massa retida 4,75mm – 1ª amostra



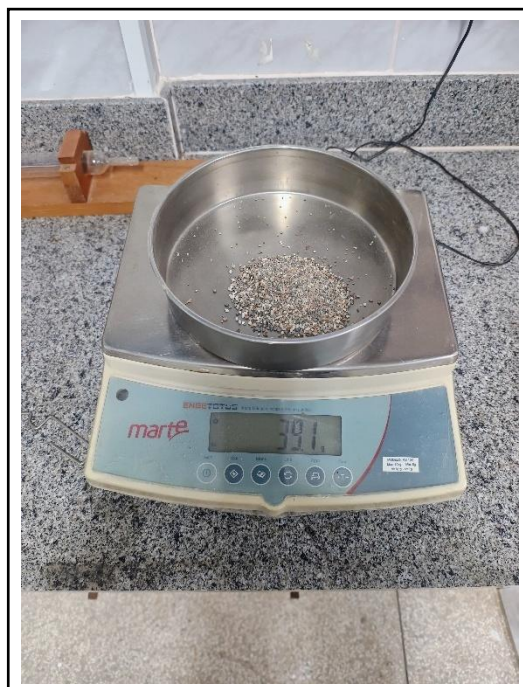
Fonte: Autor

Figura 17: Massa retida 2,36mm – 1ª amostra



Fonte: Autor

Figura 18: Massa retida 1,18mm – 1ª amostra



Fonte: Autor

Figura 19: Massa retida 600 μm – 1ª amostra



Fonte: Autor

Figura 20: Massa retida 300 μm – 1ª amostra



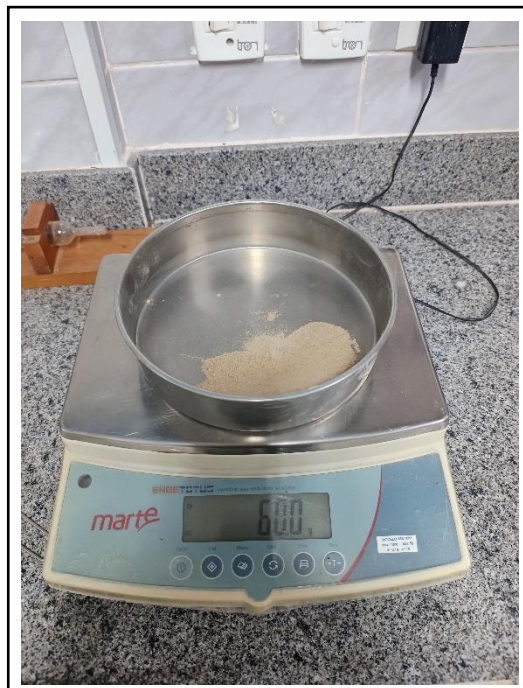
Fonte: Autor

Figura 21: Massa retida 150 μm – 1ª amostra



Fonte: Autor

Figura 22: Massa retida fundo – 1ª amostra



Fonte: Autor

Figura 23: Massa retida 19mm – 2ª amostra



Fonte: Autor

Figura 24: Massa retida 12,5mm – 2ª amostra



Fonte: Autor

Figura 25: Massa retida 9,5mm – 2ª amostra



Fonte: Autor

Figura 26: Massa retida 6,3mm – 2ª amostra



Fonte: Autor

Figura 27: Massa retida 4,75mm – 2ª amostra



Fonte: Autor

Figura 28: Massa retida 2,36mm – 2ª amostra



Fonte: Autor

Figura 29: Massa retida 1,18mm – 2ª amostra



Fonte: Autor

Figura 30: Massa retida 600 µm – 2ª amostra



Fonte: Autor

Figura 31: Massa retida 300 μm – 2ª amostra



Fonte: Autor

Figura 32: Massa retida 150 μm – 2ª amostra



Fonte: Autor

Figura 33: Massa retida fundo – 2ª amostra



Fonte: Autor

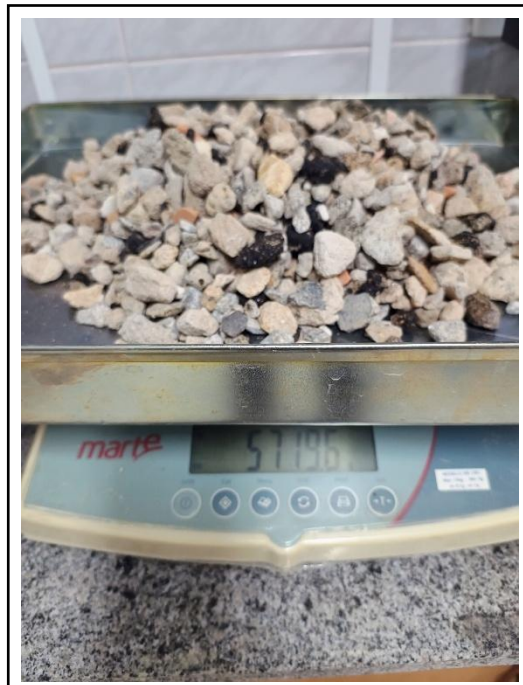
8.3 RELATÓRIO FOTOGRÁFICO – DENSIDADE E ABSORÇÃO DE ÁGUA

Figura 34: Amostra submersa em água por 24h



Fonte: Autor

Figura 35: Massa ma



Fonte: Autor

Figura 36: Massa mb



Fonte: Autor

8.4 RELATÓRIO FOTOGRÁFICO – DETERMINAÇÃO DO TEOR DE ARGILA E MATERIAIS FRIÁVEIS

Figura 37: Massa mi1



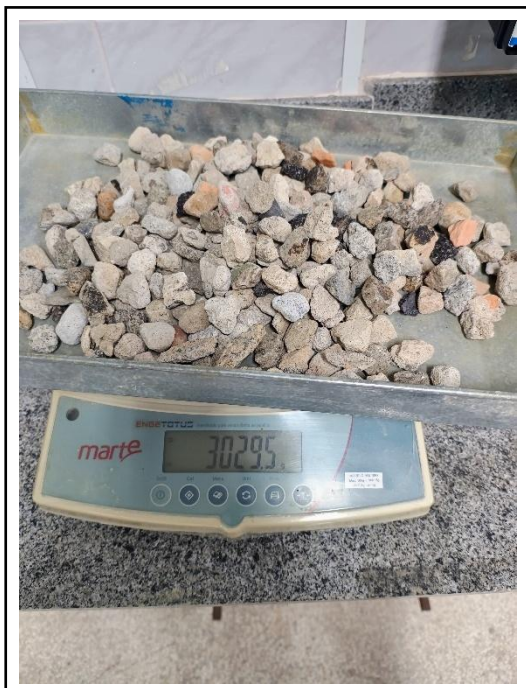
Fonte: Autor

Figura 38: Massa mi2



Fonte: Autor

Figura 39: Massa mi3



Fonte: Autor

Figura 40: Dissolução das argilas e friáveis



Fonte: Autor

Figura 41: Amostras submersas em água



Fonte: Autor

Figura 42: Massa mf1



Fonte: Autor

Figura 43: Massa mf2



Fonte: Autor

Figura 44: Massa mf3



Fonte: Autor

8.5 RELATÓRIO FOTOGRÁFICO – DETERMINAÇÃO DO MATERIAL FINO QUE PASSA PELA PENEIRA DE 75 μ m POR LAVAGEM

Figura 45: Massa mi1



Fonte: Autor

Figura 46: Massa mi2



Fonte: Autor

Figura 47: Massa mf1



Fonte: Autor

Figura 48: Massa mf2



Fonte: Autor