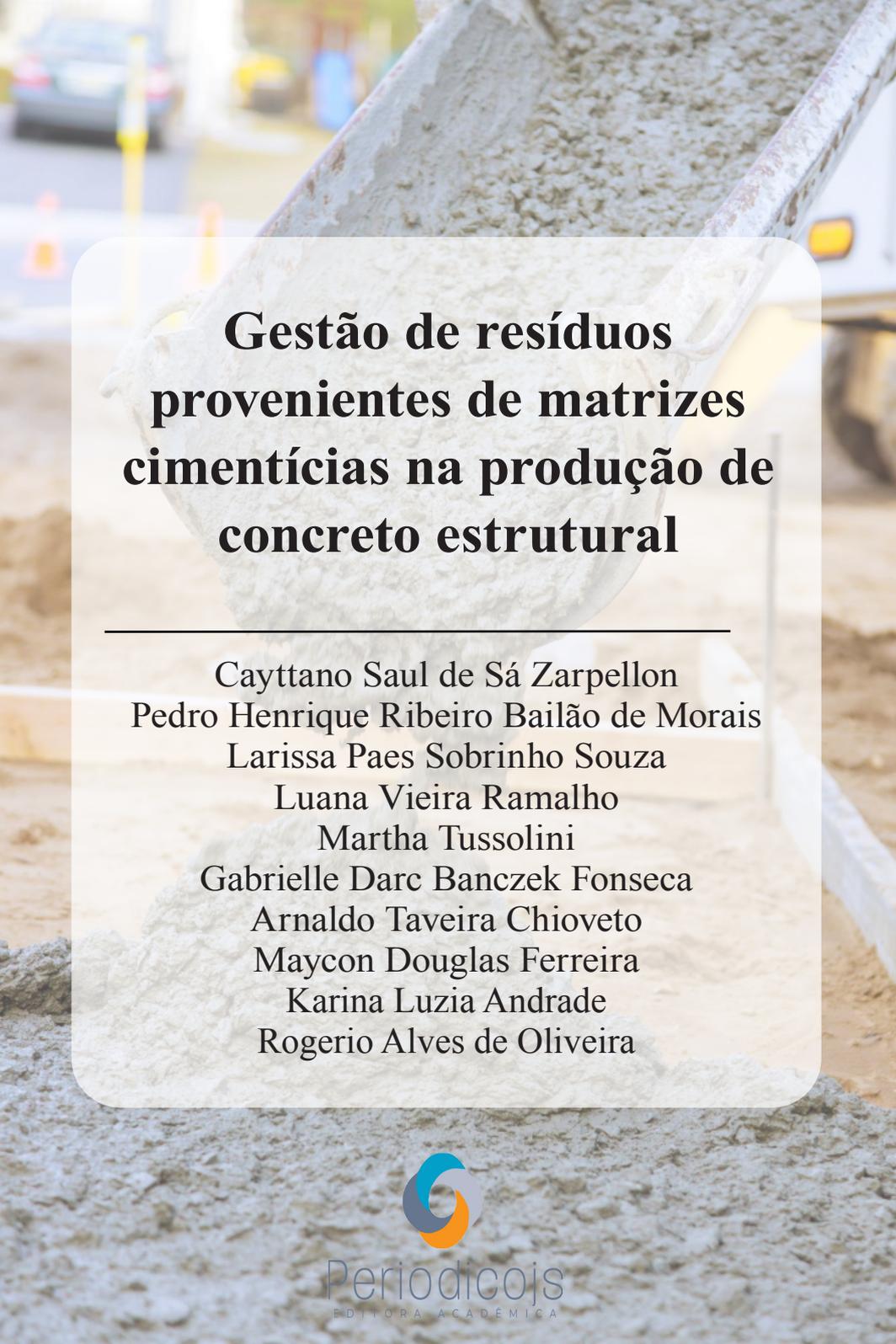


# **Gestão de resíduos provenientes de matrizes cimentícias na produção de concreto estrutural**

---

Cayttano Saul de Sá Zarpellon  
Pedro Henrique Ribeiro Bailão de Moraes  
Larissa Paes Sobrinho Souza  
Luana Vieira Ramalho  
Martha Tussolini  
Gabrielle Darc Banczek Fonseca  
Arnaldo Taveira Chioveto  
Maycon Douglas Ferreira  
Karina Luzia Andrade  
Rogerio Alves de Oliveira





# **Gestão de resíduos provenientes de matrizes cimentícias na produção de concreto estrutural**

---

Cayttano Saul de Sá Zarpellon  
Pedro Henrique Ribeiro Bailão de Moraes  
Larissa Paes Sobrinho Souza  
Luana Vieira Ramalho  
Martha Tussolini  
Gabrielle Darc Banczek Fonseca  
Arnaldo Taveira Chioveto  
Maycon Douglas Ferreira  
Karina Luzia Andrade  
Rogerio Alves de Oliveira



## Conselho Editorial

Abas Rezaey

Izabel Ferreira de Miranda

Ana Maria Brandão

Leides Barroso Azevedo Moura

Fernado Ribeiro Bessa

Luiz Fernando Bessa

Filipe Lins dos Santos

Manuel Carlos Silva

Flor de María Sánchez Aguirre

Renísia Cristina Garcia Filice

Isabel Menacho Vargas

Rosana Boullosa

### Projeto Gráfico, editoração, capa

Editora Acadêmica Periodicojs

### Idioma

Português

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

G393 Gestão de resíduos provenientes de matrizes cimentícias na produção de concreto estrutural. / Cayttano Saul de Sá Zarpellon... [et al.] - João Pessoa: Periodicojs editora, 2024.

E-book: il. color.

Inclui bibliografia

ISBN: 978-65-6010-129-6

1. Gestão de resíduos. 2. Concreto estrutural. I. Zarpellon, Cayttano S. II. Morais, Pedro Henrique R. III. Souza, Larissa Paes S. IV. Ramalho, Luana V. V. Tussolini, Martha. VI. Fonseca, Gabrielle Darc B. VII. Chioveto, Arnaldo T. VIII. Ferreira, Maycon D. Andrade, Karina L. X. Oliveira, Rogerio Alves. X. Título

CDD 624.1

Elaborada por Dayse de França Barbosa CRB 15-553  
Índice para catálogo sistemático:

1. Engenharia civil: 624.1

Obra sem financiamento de órgão público ou privado. Os trabalhos publicados foram submetidos a revisão e avaliação por pares (duplo cego), com respectivas cartas de aceite no sistema da editora.

A obra é fruto de estudos e pesquisas da seção de Teses e Dissertações na America Latina da Coleção de livros Estudos Avançados em Saúde e Natureza



Filipe Lins dos Santos  
**Presidente e Editor Sênior da Periodicojs**

CNPJ: 39.865.437/0001-23

Rua Josias Lopes Braga, n. 437, Bancários, João Pessoa - PB - Brasil  
website: [www.periodicojs.com.br](http://www.periodicojs.com.br)  
instagram: @periodicojs

# Prefácio



A obra intitulada de “Gestão de resíduos provenientes de matrizes cimentícias na produção de concreto estrutural” é fruto da pesquisa produzida pelos pesquisadores Cayttano Saul de Sá Zarpellon, Pedro Henrique Ribeiro Bailão de Moraes, Larissa Paes Sobrinho Souza, Luana Vieira Ramalho, Martha Tussolini, Gabrielle Darc Banczek Fonseca, Arnaldo Taveira Chioveto, Maycon Douglas Ferreira, Karina Luzia Andrade, Rogerio Alves de Oliveira. A publicação desse livro junto a Editora Acadêmica Periodicojs se encaixa no perfil de produção científica produzida pela editora que busca valorizar diversos pesquisadores por meio da publicação completa de suas pesquisas. A obra está sendo publicada na seção Tese e Dissertação da América Latina.

Essa seção se destina a dar visibilidade a pesquisadores na região da América Latina por meio



da publicação de obras autorais e obras organizadas por professores e pesquisadores dessa região, a fim de abordar diversos temas correlatos e mostrar a grande variedade temática e cultural dos países que compõem a América Latina.

Esse novo ebook busca discutir como estratégias de gestão de resíduos decorrentes de matrizes cimentícias, pode proporcionar uma melhora no processo produtivo e laboral.

**Filipe Lins dos Santos**

**Editor Sênior da Editora Acadêmica Periodicojs**



# Sumário



## Capítulo 1

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DA MATRIZ DE  
CONCRETO COM INCORPORAÇÃO DOS RESÍDUOS  
DE BLOCOS DE ALVENARIA ESTRUTURAL

7

## Capítulo 2

PROPOSTA ALTERNATIVA DE DOSAGEM DE  
CONCRETO EXECUTADA A PARTIR DE RESÍDUOS  
DE BLOCOS ESTRUTURAIS

113

6



# Capítulo 1

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DA MATRIZ  
DE CONCRETO COM INCORPORAÇÃO DOS  
RESÍDUOS DE BLOCOS DE ALVENARIA  
ESTRUTURAL**

# ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DA MATRIZ DE CONCRETO COM INCORPORAÇÃO DOS RESÍDUOS DE BLOCOS DE ALVENARIA ESTRUTURAL

## ANALYSIS OF THE PROPERTIES OF THE CONCRETE MATRIX WITH INCORPORATION OF STRUCTURAL MASONRY BLOCKS

**Resumo:** A indústria da construção civil é um setor de grande importância para a economia do país, impulsionando o crescimento de diversos outros setores, como o social e o tecnológico. No ano de 2022, o setor registrou um crescimento significativo de 6,90%, o que evidencia sua relevância. No entanto, esse crescimento também acarreta na geração de maior quantidade de resíduos de construção e demolição, resultante de falhas construtivas, má gestão de obras e dos próprios processos de reformas e demolições. Nesse contexto, a presente pesquisa tem como propósito,



apresentar uma alternativa sustentável por meio da substituição do agregado miúdo proveniente de um meio natural por agregado miúdo oriundo da trituração dos rejeitos de blocos de alvenaria estrutural, buscando-se a redução do consumo do agregado natural e funcionalização de um resíduo que poderia vir a ser depositados em aterros ou em outros espaços que não oportunizariam o reuso, além de investigar as propriedades do concreto tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, analisando as vantagens e desvantagens da metodologia empregado. Diante deste cenário, compreende-se a importância dos estudos direcionados ao desenvolvimento de técnicas sustentáveis objetivando a otimização de mecanismos gerados dentro da construção civil, principalmente voltados para o reaproveitamento, meio ambiente e redução de custos. Mediante ao supracitado, este procedimento de cunho experimental, buscou propor durante a dosagem do concreto, a substituição gradual apenas do agregado miúdo, mantendo-se fixos todos os demais compostos. As substituições foram determinadas de dez em dez por cento,



variando de zero à cem. Após a dosagem de cada matriz de concreto com o seu devido percentual de substituição, realizou-se em concordância com as normativas brasileiras, os ensaios de abatimento, resistência à compressão simples aos 28 dias de cura submersa em solução saturada de hidróxido de cálcio e absorção por capilaridade após secagem em estufa. Relativo aos resultados, verificou-se que no intervalo de 10% a 30% houve ganho contínuo de abatimento, resistência à compressão e absorção de água em relação ao traço piloto (sem adições). Entre 40% e 70%, ocorreram reduções tanto do abatimento quanto da resistência à compressão e absorção de água. No entanto, de 80% a 100% notou-se um comportamento distinto dos demais, desenvolvendo-se a redução contínua do abatimento e o aumento expressivo da resistência à compressão e resultados tendendo à redução da absorção de água, porém, apresentando uma dispersão da continuidade em 90%. Observou-se também que o teor ótimo com maior resultado de abatimento e resistência à compressão, foi obtido com 30% de substituição. É válido destacar que em todos os



percentuais de incorporação, houve ganho de resistência em relação ao traço piloto. Portanto, em concordância com estes dados, sugere-se que demais estudos sobre a incorporação de resíduos de blocos de concreto na estrutura de agregado miúdo devem ser realizados com a finalidade de analisar a viabilidade de produção e econômica para o mercado da construção civil.

**Palavras-chave:** Agregado. Concreto. Economia. Sustentável.

**Abstract:** The construction industry is a sector of great importance to the country's economy, driving the growth of various other sectors, such as social and technological. In the year 2022, the sector recorded significant growth of 6.90%, highlighting its relevance. However, this growth also leads to the generation of a greater amount of construction and demolition waste, resulting from construction flaws, poor construction management, and the processes of renovation and demolition. In this context, the



present research aims to present a sustainable alternative by replacing the fine aggregate from a natural source with fine aggregate obtained from the crushing of structural masonry block rejects, seeking to reduce the consumption of natural aggregate and functionalize waste that could otherwise be deposited in landfills or other spaces that would not facilitate reuse. It also investigates the properties of concrete in both the fresh and hardened states, analyzing the advantages and disadvantages of the methodology employed. Given this scenario, the importance of studies focused on the development of sustainable techniques aiming to optimize mechanisms generated within the construction industry, especially those focused on reuse, the environment, and cost reduction, is understood. Considering the above, this experimental procedure sought to propose, during the concrete mix design, the gradual replacement of only the fine aggregate, keeping all other components constant. The substitutions were determined in increments of ten percent, ranging from zero to one hundred. After the mixture of each concrete matrix with its respective percentage



of substitution, tests were conducted in accordance with Brazilian standards, including slump tests, simple compression strength tests at 28 days of curing submerged in a saturated calcium hydroxide solution, and capillary absorption after oven-drying. Regarding the results, it was found that in the range of 10% to 30%, there was a continuous gain in slump, compressive strength, and water absorption compared to the pilot mix (without additions). Between 40% and 70%, there were reductions in both slump and compressive strength, as well as water absorption. However, from 80% to 100%, a different behavior was observed, with a continuous decrease in slump and a significant increase in compressive strength, and results tending to reduce water absorption, but with some variability at 90%. It was also observed that the optimal content with the highest slump and compressive strength results was achieved with 30% substitution. It is worth noting that in all incorporation percentages, there was a gain in strength compared to the pilot mix. Therefore, in line with these data, it is suggested that further studies on the incorporation of concrete block



waste into the fine aggregate structure should be conducted to analyze the production and economic viability for the construction market.

**Keywords:** Aggregate. Concrete. Economy. Sustainable.

## INTRODUÇÃO

O setor da construção civil desempenha um papel importante na economia do país, sendo responsável por impulsionar o crescimento econômico em 6,9% no último ano, de acordo com o PIB de 2022. Esse crescimento tem impactos positivos em outros setores, como o social e o tecnológico. No entanto, o aumento da indústria da construção também acarreta em uma maior geração de resíduos de construção e demolição, devido ao consumo desenfreado de recursos naturais na produção de bens, os quais são posteriormente depositados de forma descontrolada no meio ambiente (Degani, 2003).

Os resíduos gerados durante processos como



reformas, construção, reparos, demolição e escavação de terrenos são classificados em diferentes categorias: reutilizáveis como agregados (Classe A), recicláveis com outra destinação (Classe B), resíduos sem tecnologia de reciclagem (Classe C) e resíduos perigosos (Classe D) (CONAMA, 2002). Essa produção acelerada de resíduos tem um impacto negativo significativo no meio ambiente. Uma solução para a redução desses resíduos é o uso de agregados reciclados (Angulo; Zordan; John, 2001).

Dentre os resíduos de classe A, destacam-se os resíduos de concreto, que, quando processados por meio da britagem, tornam-se uma matéria-prima de qualidade para ser utilizada na fabricação de concreto. A incorporação desses materiais reciclados melhora o desempenho do concreto (Carneiro, 2001). Após o processo de britagem, o material reciclado possui uma granulometria similar à dos agregados naturais, conforme verificado por Rodrigues (2011), seguindo as normas da NBR 7211 (ABNT, 2009).

Portanto, esta pesquisa tem como objetivo propor a reutilização dos resíduos provenientes de blocos de



concreto, que seriam descartados como rejeitos, como uma alternativa parcial ao uso de agregados miúdos naturais na produção de concreto. Ao substituir parcialmente os agregados miúdos naturais pelos resíduos provenientes de blocos de concreto, espera-se obter uma série de benefícios além da economia, como a redução do consumo de recursos naturais e a diminuição da quantidade de resíduos descartados inadequadamente. Além disso, estudos têm demonstrado que o uso de agregados reciclados de concreto pode resultar em desempenho comparável, e até mesmo superior, ao dos agregados naturais (Rodrigues, 2011).

## **OBJETIVOS**

### **Geral**

Estudar as propriedades da matriz de concreto produzida com substituições graduais de agregado miúdo por resíduos de blocos de alvenaria estrutural.



## **Específicos**

- Avaliar os efeitos da incorporação de resíduos de blocos estruturais na matriz de concreto;
- Analisar as vantagens e desvantagens relativas às substituições;
- Identificar o teor ótimo de substituição que atenda às propriedades do concreto simples.

## **JUSTIFICATIVA**

O Brasil enfrenta um desafio significativo em relação à geração de resíduos sólidos urbanos, sendo responsável por 60% desse volume anualmente, de acordo com a ABRECON (2011). Dentre esses resíduos, uma parcela significativa provém da indústria da construção civil, tornando-se um dos principais contribuintes para os danos ambientais. Diante desse cenário, torna-se imprescindível o estudo de técnicas que visem o reaproveitamento desses resíduos, com o objetivo de reduzir o consumo de recursos



naturais, incentivar a aplicação da reutilização de Resíduos de Construção e Demolição (RCD), diminuir a emissão de CO<sub>2</sub> proveniente da produção de materiais convencionais e reduzir a quantidade de RCD encaminhados para aterros sanitários.

Através do processo de moagem dos resíduos provenientes da construção civil, é possível obter frações que apresentam granulometria semelhante ao agregado miúdo. Isso abre a possibilidade de incorporação desses resíduos na produção de concreto, utilizando uma metodologia de substituição em percentuais adequados. Essa prática tem o potencial de proporcionar uma redução significativa no volume de extração de matéria-prima, resultando em menores impactos ambientais diretos e indiretos causados pela exploração dos recursos naturais. Além disso, o reaproveitamento dos resíduos agrega valor a um material que, de outra forma, seria descartado, promovendo a economia circular e a sustentabilidade no setor da construção civil.

Essas medidas de reaproveitamento e incorporação



de resíduos provenientes da construção civil não apenas contribuem para a preservação do meio ambiente, mas também podem gerar benefícios econômicos. A utilização de RCD como substituto parcial do agregado miúdo pode reduzir os custos de produção, além de ampliar as possibilidades de utilização desses materiais em diferentes aplicações. Dessa forma, investir em técnicas de reaproveitamento e valorização dos resíduos da construção civil se torna uma estratégia fundamental para promover a sustentabilidade ambiental e econômica do setor.

## **REVISÃO DE LITERATURA**

### **Construção civil**

A construção civil é um setor de grande relevância para a economia brasileira, desempenhando um papel fundamental no Produto Interno Bruto (PIB) do país. Sua atuação abrange a criação de novas edificações, infraestruturas urbanas, obras de saneamento e transporte, bem como a manutenção e reforma de estruturas existentes.



A indústria da construção gera empregos diretos e indiretos e movimentada cadeias produtivas diversas, contribuindo significativamente para o crescimento econômico do Brasil.

Conforme destacado por Breitbach (2009), a construção civil desempenha um papel de extrema relevância no âmbito econômico, sendo responsável não somente por movimentar consideráveis recursos financeiros e criar oportunidades significativas de emprego. A cadeia produtiva da construção abrange uma diversidade de segmentos industriais, fornecendo uma ampla gama de produtos e serviços, ao longo de todas as fases da construção de edificações.

## **Métodos construtivos convencionais**

Os métodos construtivos convencionais mais populares são: concreto armado e alvenaria estrutural. São abordagens tradicionais utilizadas na construção civil que envolvem procedimentos estabelecidos e amplamente aceitos no setor. Essas técnicas são fundamentais para a



realização de edificações, estruturas e infraestruturas de forma eficiente, segura e econômica.

## **Concreto armado**

Segundo Carvalho e Figueiredo Filho (2014), o conceito de concreto armado refere-se à combinação estratégica entre concreto simples e armadura, possibilitando a colaboração mútua na resistência às solicitações de força. Além disso, os autores destacam que o concreto e o aço têm coeficientes de dilatação térmica semelhantes, o que torna vantajosa a atuação conjunta desses materiais, garantindo proteção contra a oxidação e altas temperaturas. Tal sinergia torna o trabalho conjunto dos dois elementos extremamente interessante e viável.

## **Alvenaria Estrutural**

A técnica de alvenaria estrutural representa um método construtivo no qual as paredes de alvenaria



e as lajes rígidas desempenham uma função estrutural, substituindo os pilares e vigas convencionais utilizados em outras abordagens construtivas. Nesse método construtivo, as paredes atuam simultaneamente como subsistemas de sustentação e isolamento, conferindo à edificação uma maior simplicidade na execução (Roman, 1996).

A alvenaria estrutural é um método construtivo que envolve a utilização das paredes de alvenaria como elementos estruturais, eliminando a necessidade de pilares e vigas convencionais. De acordo com Botelho (2008), a alvenaria estrutural simplifica o processo construtivo ao combinar a função de suporte e vedação em uma única etapa, resultando em economia de tempo e custos.

Giongo (2012) destaca que a alvenaria estrutural requer um cuidadoso planejamento de projeto, considerando fatores como cargas, dimensionamento de elementos e escolha de materiais. O autor enfatiza a importância de se adotar uma abordagem integrada, em que arquitetos e engenheiros colaborem para otimizar o projeto.

Para Dantas (2010), a alvenaria estrutural apresenta



vantagens como boa resistência ao fogo, isolamento térmico e acústico, além de ser uma opção sustentável devido à redução de resíduos de construção. No entanto, ele ressalta a necessidade de supervisão rigorosa durante a execução para garantir a qualidade das juntas e o alinhamento das paredes.

Segundo Arêas (2015), a alvenaria estrutural é amplamente utilizada em edifícios residenciais e comerciais de médio porte, mas também pode ser aplicada em obras de grande escala. O autor observa que o sucesso desse método depende da adequada escolha de materiais, detalhamento dos elementos construtivos e controle de qualidade.

## **Resíduos da Construção Civil**

A indústria da construção civil é notória por seu elevado consumo de recursos naturais e sua posição como principal geradora de resíduos. Nesse contexto, a tecnologia construtiva adotada no Brasil tende a favorecer o desperdício de materiais (Mariano, 2008). Além disso,



conforme ressaltado por Nagalli (2014), a adoção de processos construtivos essencialmente manuais no país está diretamente relacionada à geração excessiva de resíduos, resultando em problemas ambientais, desafios logísticos e consideráveis prejuízos financeiros.

A indústria da construção é uma atividade vital para a sociedade, mas também representa uma das maiores ameaças ecológicas, uma vez que consome recursos naturais em quantidades significativas. Dados apontam que a construção civil é responsável por mais de 50% do consumo de matérias-primas extraídas da natureza em muitos países (Mariano, 2008). Esse elevado consumo coloca a indústria em posição crítica quando se trata de impactos ambientais negativos.

Os resíduos da construção civil (RCC) ou resíduos de construção e demolição (RCD), como também são conhecidos, são definidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) através da Resolução CONAMA 307/2002 e suas alterações, sendo aqueles “provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras



de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos”. Como exemplos de resíduos gerados na grande maioria das obras temos: resíduos de blocos cerâmicos, concreto, argamassa, metais, plásticos, vidros, fiação elétrica, entre outros.

Zordan (2012) menciona que a escassa compreensão cultural e técnica sobre o reaproveitamento, a reutilização e a reciclagem são fatores primordiais que contribuem significativamente para a geração dos Resíduos da Construção Civil. O período de vida projetado para uma edificação normalmente varia de 50 a 100 anos, porém, essa longevidade é grandemente influenciada pela composição e utilização de seus elementos construtivos (Kibert et al., 2000).

Além disso, outras causas relevantes para a geração de RCC derivam de desastres naturais, como terremotos, avalanches e enchentes, entre outros eventos, assim como daquelas ocasionadas por falhas humanas, como conflitos bélicos, erros na execução das obras em qualquer de suas etapas, projetos, execução e/ou manutenção (Banthia; Chan,



2000).

## **Resíduos de reforma e demolição**

Segundo Neto (2005), os Resíduos da Construção e Demolição (RCD), também conhecidos como resíduos de obras, são os detritos provenientes dos materiais empregados nas diversas fases de projetos na construção civil. Além de serem gerados em novas edificações, os RCD também podem ser provenientes de obras de reparo, restauração, demolição e infraestrutura.

A Resolução CONAMA nº 307 (2002, p. 1) traz a classificação dos RCD, da seguinte maneira:

- Classe A – são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:
  1. De construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de



terraplanagem;

2. De construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento, etc.), argamassa e concreto;
  3. De processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios, etc.) produzidas nos canteiros de obras;
- Classe B – são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso;
  - Classe C – são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação;
  - Classe D – são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles



contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde. De acordo com Carneiro et al. (2001 citado por Scremin, 2007), os Resíduos da Construção e Demolição (RCD) são geralmente constituídos por:

1. Concretos e argamassas;
2. Materiais cerâmicos, como blocos, tijolos e lajotas;
3. Solos, areia e argila.

## **Resíduos de produção**

De acordo com a ABNT NBR 15112:2004, os resíduos de produção na construção civil referem-se aos materiais descartados ou excedentes gerados durante todas



as fases do ciclo construtivo, desde o início da obra até a conclusão. Isso inclui restos de materiais como concreto, argamassa, madeira, metais, plásticos, vidros e outros materiais utilizados nas atividades construtivas.

Para Zordan (2012) as principais causas da geração de resíduos de produção na construção civil incluem:

- Falta de planejamento adequado e gestão ineficiente de materiais;
- Erros no dimensionamento e execução de projetos;
- Materiais de baixa qualidade ou deteriorados;
- Desperdício de materiais durante a construção;
- Mudanças no projeto original durante a execução da obra.

A disposição inadequada de resíduos de produção pode causar sérios impactos ambientais, como a contaminação do solo e da água, a degradação de ecossistemas naturais e a emissão de gases de efeito estufa.



A destinação correta dos resíduos é essencial para reduzir esses impactos e promover a sustentabilidade na construção civil (Silva, 2014).

A gestão adequada dos resíduos de produção na construção civil envolve a implementação de práticas sustentáveis, como a reutilização de materiais, a segregação correta no canteiro de obras, a reciclagem e a adoção de tecnologias mais eficientes que reduzam o desperdício (Tam, 2007).

Bastos, Cruz e Woelffel (2016) descrevem que os resíduos de construção e demolição (RCD) são originados das atividades de construção, reforma ou demolição, sendo categorizados, conforme a Resolução CONAMA nº 307, como resíduos de classe A, que englobam os materiais reutilizáveis ou recicláveis, como agregados (p. 53). Os autores também afirmam que o concreto com agregados reciclados apresenta características distintas dos convencionais, e o resultado dependerá da qualidade do agregado.

Lima (1999) considera importante adotar



precauções durante a produção de agregados, especialmente quando se trata da seleção do resíduo, classificação e remoção de contaminantes, entre outros aspectos.

Os blocos de concreto devem atender a determinados parâmetros e serem avaliados a partir de sua matéria-prima, relação água/cimento, granulometria dos agregados, proporção, tempo de mistura, vibração, prensagem, condições de cura, execução e manipulação do material (Bastos; Cruz; Woelffel, 2016).

Nesse contexto, os autores supracitados reiteram que a reutilização dos blocos por meio da reciclagem possibilita a economia dos custos relacionados à aquisição de agregados naturais e ao transporte de matérias-primas, além de contribuir para a redução do entulho, o que, de acordo com os autores, também resulta em uma diminuição das emissões de gás carbônico na atmosfera, além dos custos de descarte final do entulho em aterros, e, por fim, minimiza os impactos ambientais.



## Reaproveitamento de resíduos da construção civil

Os resíduos que podem ser reutilizados ou reciclados são os classificados nas classes A e B da Resolução CONAMA nº 307 (2002, p. 1). A reutilização e a reciclagem de resíduos provenientes da construção civil têm sido alvo de crescente atenção devido aos benefícios substanciais que podem proporcionar. Esses benefícios incluem a conservação de recursos naturais e a redução do impacto ambiental. Pinto & Gonzáles (2005) destacam que essa abordagem contribui significativamente para a economia de matéria-prima e energia no setor.

Uma estimativa de Neto (2005) revela que, ao coletar uma tonelada de resíduos urbanos, cerca de duas toneladas de entulho são também recolhidas. Isso ressalta a relevância da gestão adequada dos resíduos da construção civil. Esses resíduos têm sua geração concentrada principalmente em obras civis, incluindo construção e demolição, como apontado por vários pesquisadores, como Guzi et al. (2011).



No contexto da construção civil, a reciclagem apresenta uma série de vantagens, conforme discutido por John (2000). Primeiramente, ela permite a redução do consumo de recursos naturais não renováveis, uma vez que materiais reciclados podem substituir aqueles de origem virgem. Além disso, a reciclagem contribui para a diminuição da demanda por áreas destinadas a aterros de resíduos, auxiliando na preservação do espaço. Há também um impacto positivo no consumo energético, já que a produção de cimento e outros materiais requer energia considerável. A utilização de materiais reciclados ajuda a diminuir essa demanda energética. Por fim, a reciclagem na construção civil tem o potencial de reduzir a poluição ambiental, contribuindo para a melhoria da qualidade do ambiente em que vivemos.

De acordo com (Barros, 2012), o procedimento de reutilização compreende:

- triagem preliminar: baseada na constituição e proporções dos elementos (cimento, blocos,



elementos cerâmicos, tijolos, pedaços de argamassa e frações de solo);

- higienização: remoção de componentes inadequados (madeira, plástico, papéis, metais, etc.), também visando a oportunidade de reciclagem ou reaproveitamento;
- trituração/fragmentação: método para produzir agregados de acordo com granulometrias específicas – a ser executado em dispositivos especializados, ou seja, britadores e/ou moinhos, onde o processo de triagem separa apenas madeira, plástico, metais, etc., resultando em uma massa mineral sem ordenamento granulométrico, que serve como matéria-prima para argamassas;
- ordenação granulométrica: uso de peneiramento para separar materiais conforme o tamanho das partículas (fines, pedriscos e pedras de 1, 2 e 3).



Portanto, o principal desafio na reutilização de materiais é a educação contínua de todos os participantes no processo, começando pelos próprios colaboradores. É essencial fomentar colaborações com órgãos governamentais e também oferecer visitas e sessões de capacitação para introduzir um produto no mercado, bem como demonstrar o processo de transformação (Couto Neto, 2007).

### **Incorporação de resíduos de construção na matriz de concreto**

A utilização de resíduos na formulação de novos materiais representa um movimento global em constante expansão em todas as áreas de atuação, trazendo consigo a vantagem de redução de custos. A incorporação de resíduos na fabricação de concreto apresenta uma alternativa economicamente viável, além de contribuir para a preservação ambiental.

Conforme elucidado por Rodrigues e Fucale (2014) em sua pesquisa, é viável a produção de misturas



de concreto que substituam 50% do agregado miúdo (areia) em massa pelo agregado miúdo proveniente de reciclagem de construção e demolição (RCD). Notou-se um aumento na resistência à compressão do concreto reciclado em comparação com a formulação de referência, devido à redução da proporção água/cimento efetiva nos compósitos reciclados.

No âmbito do estudo realizado por Silva et al. (2014), as características e composição dos agregados reciclados de construção e demolição destinados à produção de concreto foram minuciosamente avaliadas. Os resultados proporcionaram o desenvolvimento de uma abordagem prática para avaliar a qualidade desses agregados reciclados, o que se revela valioso para a produção concreta.

Os agregados reciclados aplicados na produção de concreto apresentam uma absorção de água mais elevada e um índice de vazios superior quando contrastados com os concretos tradicionais. Essa particularidade se origina do aumento na proporção água/cimento, bem como da diminuição da densidade, permeabilidade e composição dos



agregados reciclados, conforme constatado por Evangelista e Brito (2010).

Ao abordar a viabilidade da utilização de fragmentos de tijolos como agregados tanto miúdos quanto graúdos na fabricação de blocos de alvenaria de concreto, Xiao et al. (2011) ressaltam os resultados de testes experimentais. Eles indicaram que a introdução desses agregados de tijolos influenciou de forma notável as propriedades dos blocos. A inclusão de agregados reciclados resultou em maior absorção de água nas amostras de bloco. Com base nos resultados, sugerem que a proporção de fragmentos de tijolos a ser incorporada em blocos de concreto deve ser inferior a 25% para agregados graúdos e entre 50% e 75% para agregados miúdos.

O estudo conduzido por Olorunsogo e Padayachee (2002) examinou atributos relacionados à resistência do concreto, como a taxa de condução de íons cloreto, permeabilidade ao oxigênio e capacidade de absorção de água. Essas análises foram conduzidas em misturas com teores de substituição de agregados naturais por reciclados



de 0%, 50% e 100%. Os resultados da avaliação da durabilidade dos concretos contendo agregados reciclados indicaram melhorias em algumas propriedades. Por exemplo, em determinados níveis de substituição, observou-se uma redução na condução de íons cloreto.

De acordo com as pesquisas empreendidas por Vieira e Molin (2004), a adição de resíduos ao concreto não afeta sua resistência à compressão nem compromete a durabilidade, tampouco resulta em corrosão das armaduras. Em algumas situações, inclusive, essas características são aprimoradas. Os achados desse estudo sugerem que a substituição dos agregados é viável dentro de determinados limites percentuais, pois a utilização de misturas contendo 100% de agregados reciclados, ou a substituição integral dos agregados graúdos reciclados, pode prejudicar o desempenho do concreto, comprometendo sua resistência contra agentes agressivos.

Os mesmos pesquisadores indicam que existe potencial para economia na produção de concreto ao recorrer aos agregados reciclados, uma vez que esses



apresentam custos inferiores em comparação aos agregados naturais. Substituir agregados naturais por reciclados pode resultar em economias de até 74% em relação ao valor dos agregados naturais, tornando economicamente viável a adoção de concreto com materiais reciclados.

No contexto da viabilidade técnica da incorporação desses materiais, Chen et al. (2003) e outros investigaram suas propriedades mecânicas e concluíram que os agregados reciclados podem ser utilizados em misturas de concreto. Gómez-Soberon (2002), por sua vez, destaca que, apesar da porosidade significativa dos agregados reciclados, sua aplicação em concretos é perfeitamente viável.

Essas descobertas reforçam a perspectiva de que a utilização de agregados reciclados em concretos é uma prática técnica e economicamente sensata, que pode não apenas contribuir para a sustentabilidade, mas também resultar em benefícios aprimorados em termos de propriedades e custos.



## **Resíduos de blocos de alvenaria estrutural na matriz de concreto**

A prática de incorporar resíduos de blocos estruturais na matriz de concreto é uma abordagem sustentável que visa reciclar materiais e reduzir o impacto ambiental na construção civil. Vários autores têm investigado essa técnica, comparando os resultados com outras pesquisas para avaliar os benefícios e desafios associados a essa prática.

Silva et al. (2017) enfatizam que a incorporação de resíduos de blocos de concreto pode melhorar a resistência à compressão e a durabilidade do concreto. No entanto, eles ressaltam a necessidade de ajustar as proporções dos resíduos de forma adequada para evitar comprometer as propriedades do material resultante. Comparando com estudos similares, os autores destacam que a quantidade de resíduos e sua granulometria influenciam diretamente nos resultados.

Por outro lado, Souza et al. (2019) abordam tanto



os aspectos positivos quanto os desafios da incorporação de resíduos de blocos na matriz de concreto. Eles destacam a relevância de estudos de caracterização dos resíduos para determinar suas propriedades e comportamento. Os autores também ressaltam a importância de avaliar o desempenho do concreto resultante em termos de resistência mecânica e durabilidade. Comparando com outras pesquisas, eles indicam que a escolha da proporção e o uso de aditivos podem influenciar diretamente na trabalhabilidade e nas características finais do concreto.

Um estudo realizado por Santos et al. (2020) também destaca a influência da incorporação de resíduos de blocos de concreto na trabalhabilidade do concreto fresco. Eles recomendam ajustar a relação água/cimento para manter a trabalhabilidade adequada. Em comparação com outras investigações, os autores mencionam que o controle das características físicas dos resíduos é crucial para obter resultados consistentes.

De acordo com Xie et al. (2019), a incorporação de resíduos de blocos na matriz de concreto pode melhorar



a sustentabilidade da construção, reduzindo a demanda por matérias- primas naturais e diminuindo a quantidade de resíduos descartados. No entanto, os autores ressaltam a importância de estudar a interação entre os resíduos e a matriz de concreto para evitar impactos negativos nas propriedades mecânicas e durabilidade do material.

Já de acordo com Pereira et al. (2020), a utilização de resíduos de blocos de concreto na matriz de concreto pode influenciar a porosidade e a permeabilidade do material. Os autores sugerem que a adição de resíduos pode contribuir para a redução da permeabilidade, o que é vantajoso em termos de durabilidade e resistência a agentes agressivos.

Em síntese, a incorporação de resíduos de blocos estruturais na matriz de concreto é uma estratégia promissora, mas requer cuidadoso planejamento e estudos de caracterização. As pesquisas revisadas mostram que a proporção de resíduos, sua granulometria e características físicas, juntamente com o uso de aditivos e ajustes na relação água/cimento, influenciam diretamente os resultados finais. Comparando com outras pesquisas, é evidente que a prática



é viável, mas exige uma abordagem criteriosa para garantir a qualidade do concreto produzido.

## **Método de dosagem**

### **Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP**

O método da ABCP considera diversos fatores, como as características dos materiais disponíveis, as propriedades desejadas do concreto, as condições de aplicação e as normas técnicas aplicáveis. Esses fatores são levados em consideração para determinar as proporções adequadas dos componentes do concreto, como cimento, agregados (areia e brita), água e aditivos, a fim de obter um concreto com as propriedades desejadas em termos de resistência, durabilidade e trabalhabilidade.

De acordo com a ABCP (1980), o método baseia-se em estudos e pesquisas realizados pela associação, bem como em normas técnicas nacionais e internacionais aplicáveis ao setor, fornece diretrizes e procedimentos para a seleção dos materiais, a determinação das proporções, o



controle de qualidade e a execução do concreto.

É importante ressaltar que é uma abordagem reconhecida e amplamente utilizada, mas existem outras metodologias disponíveis para a dosagem de concretos, dependendo das especificidades do projeto e das exigências locais. Cada método pode ter suas próprias diretrizes e procedimentos específicos, mas o objetivo final é alcançar um concreto com desempenho adequado às necessidades da aplicação.

A abordagem consiste em descrever as características dos materiais a serem utilizados, como cimentos Portland, agregados graúdos, agregados miúdos e aditivos plastificantes, quando aplicável. A relação água-cimento (a/c) é fixada com base em uma resistência determinada e em seguida, determina-se o consumo dos materiais apresentando-se o traço.

Para análise dos agregados, é importante verificar a granulometria conforme a norma ABNT NBR 7211:2022 - Agregados para concreto - requisitos, levando em consideração a curva granulométrica, o módulo de finura do



agregado miúdo e a dimensão máxima do agregado graúdo.

Além disso, é necessário determinar a massa específica do agregado graúdo conforme a norma ABNT NBR 16917:2021 - Agregado miúdo - Determinação da densidade da absorção de água e massa unitária compactada do agregado graúdo e a massa específica do agregado miúdo conforme a norma ABNT NBR 9775:2012 - Agregado miúdo – Determinação do teor de umidade superficial por meio do frasco de Chapman – Método de ensaio.

A densidade é uma medida da massa por unidade de volume e fornece informações importantes sobre a compacidade e a quantidade de vazios presentes no material. Já a massa unitária é o peso de um determinado volume de agregado, enquanto a massa específica é a relação entre a massa e o volume ocupado pelo material.

Todos esses parâmetros são cruciais para o projeto e a execução de estruturas de concreto, pois influenciam diretamente as propriedades mecânicas, como resistência à compressão, durabilidade e desempenho estrutural. Portanto, a determinação adequada dessas características,



em conformidade com a norma ABNT NBR 16972:2021, garante que os materiais utilizados atendam aos requisitos de qualidade e desempenho estabelecidos na engenharia civil.

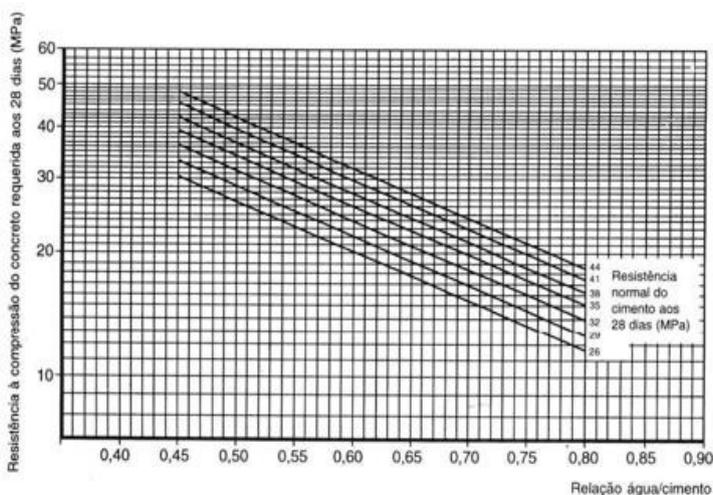
No estágio inicial, é determinada a consistência desejada para a matriz de concreto no estado fresco, juntamente com o desvio padrão de acordo com as condições de produção. Existem três condições de medição: (A), em que o cimento e agregados são medidos em massa, e a água é medida em massa ou volume, corrigida de acordo com a umidade dos agregados; (B), em que o cimento é medido em massa e a água e agregados são medidos em volume, com a umidade do agregado sendo determinada três vezes ao dia; e (C), em que os agregados são medidos em volume, o cimento é medido em massa, e a água de amassamento é medida em volume e corrigida levando em consideração a estimativa da umidade dos agregados e a determinação da consistência do concreto.

Quanto à relação a/c, é necessário utilizar a norma ABNT NBR 6118:2014, verificando a classe de agressividade,



o consumo mínimo de cimento ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) e a resistência necessária. A determinação da relação a/c depende da resistência mecânica requerida e deve ser definida com base na curva de Abrams, conforme representado na Figura 1.

Figura 1 - Curva de Abrams



Fonte: ABCP (1984)

Para estimar a quantidade de água necessária para a preparação dos moldes, foi utilizada a Tabela 1, que estabelece uma relação entre o slump desejado e o



diâmetro máximo do agregado graúdo. Essa tabela fornece a quantidade apropriada de água para atingir o slump desejado durante a moldagem.

Tabela 1 – Consumo de água aproximada

Consumo de água aproximada (l/m³)					
Abatimento (mm)	DMÁX agregado graúdo (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
40 a 60	220	195	190	185	180
60 a 80	225	200	195	190	185
80 a 100	230	205	200	195	190

Fonte: ABCP (1984)

A quantidade de cimento necessária está diretamente relacionada ao consumo de água. Portanto, a determinação do consumo de água será feita de acordo com uma equação específica.

$$C_c = \frac{C_a}{\frac{a}{c}}$$

(Equação 1)

Onde:

$C_c$  – consumo de cimento (kg/m³);  $C_a$  – consumo



de água ( $l/m^3$ );

a/c – relação água cimento

Para a determinação do agregado graúdo, é essencial obter informações sobre a dimensão máxima do agregado e o módulo de finura. Com base nessas informações, é possível determinar o percentual de agregado graúdo ( $V_b$ ) de acordo com as indicações fornecidas na Tabela 2.



Tabela 2 - Determinação do consumo de agregado graúdo

MF	Dimensão máxima (mm)				
	9,5	19,0	25	32	38
	(% de agregado graúdo (Vb))				
1,8	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845
2	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805
2,4	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785
2,6	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765
2,8	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745
3	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725
3,2	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705
3,4	0,485	0,610	0,635	0,660	0,685
3,6	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665

Fonte: ABCP (1984)

A quantidade de agregado graúdo ( $C_b$ ) será calculada usando a equação correspondente, para a determinação do agregado miúdo.

$$C_b = V_b \cdot M_c$$

(Equação 2)

Onde:

$C_b$  – consumo de brita ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$V_b$  – volume de agregado seco por  $\text{m}^3$  de concreto;

$M_c$  – massa unitária compactada do agregado



gráudo ( $\gamma$ compactada) ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

Após essas análises, é possível obter o volume do agregado miúdo utilizando a equação correspondente.

$$Vm = 1 - \left( \frac{Cc}{\delta c} + \frac{Cb}{\delta b} + \frac{Ca}{\delta a} \right)$$

(Equação 3)

Onde:

$Vm$  – volume de areia ( $\text{m}^3$ );

$Cc$  – consumo de cimento ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$\delta c$  – massa específica do cimento ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$Cb$  – consumo de brita ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$\delta b$  – massa específica da brita ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$Ca$  – consumo de água ( $\text{l}/\text{m}^3$ );

$\delta a$  – massa específica da água ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

Posteriormente, o consumo de agregado miúdo será estabelecido com base na aplicação da equação.

$$Cm = \delta m \cdot Vm$$

(Equação 4)

Onde:



$C_m$  – consumo de areia ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$\delta_m$  – massa específica da areia ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );  $V_m$  –  
volume de areia ( $\text{m}^3$ )

Finalmente, a proporção dos componentes foi estabelecida dividindo-se todos os consumos calculados pelo consumo de cimento, conforme indicado pela equação.

$$\frac{C_c}{C_c} : \frac{C_m}{C_c} : \frac{C_b}{C_c} : \frac{C_a}{C_c}$$

(Equação 5)

Onde:

$C_c/C_c$  – Cimento;

$C_m/C_c$  – areia;

$C_b/C_c$  – brita;

$C_a/C_c$  – a/c;

## PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

### Coleta de dados

A empresa V.V.G. Engenharia, uma renomada



empresa sediada no município de Barra do Garças-MT, desempenhou um papel fundamental fornecendo todo o volume de resíduos previamente triturados necessários para a pesquisa. Com o intuito de preparar adequadamente o Resíduo de Construção Civil (RCC) e a areia para os ensaios, os materiais foram cuidadosamente transferidos para a estufa localizada no laboratório de solos da conceituada Universidade do Estado de Mato Grosso.

Após sua transferência, os materiais foram submetidos a um processo de secagem controlada, permanecendo dentro da estufa por um período de 24 horas, a uma temperatura constante de 100°C, seguindo rigorosamente as diretrizes estabelecidas pela ABNT NBR 7211:2022. Essa etapa é crucial para garantir que os materiais alcancem a umidade desejada e estejam em condições ideais para os ensaios subsequentes.

Uma vez concluído o tempo de secagem na estufa, o material foi retirado cuidadosamente para ser submetido ao processo de resfriamento natural. Esse resfriamento gradual é necessário para evitar qualquer alteração indesejada nas



características físicas e químicas dos materiais, assegurando assim a integridade e a representatividade dos mesmos durante os ensaios.

Dessa forma, a colaboração da V.V.G. Engenharia e a utilização das instalações do laboratório de solos da Universidade do Estado de Mato Grosso contribuíram significativamente para a correta preparação dos materiais e garantiram a confiabilidade dos resultados obtidos na pesquisa.

## **Classificação de agregados**

A fim de estabelecer um padrão adequado para o fracionamento das partículas de areia e RCC, utilizou-se como referência a ABNT NBR 7211:2022. Essa norma desempenha um papel fundamental na definição dos critérios de classificação granulométrica dos materiais.

De acordo com a norma, as partículas miúdas são aquelas que passam pela peneira com abertura de 4,75 mm e são retidas nas peneiras com aberturas de 2,36 mm,



1,18 mm, 600  $\mu\text{m}$ , 300  $\mu\text{m}$  e 150  $\mu\text{m}$ . Essas peneiras, que seguem as especificações da norma, desempenham um papel essencial na separação e classificação das partículas de acordo com seu tamanho.

O agregado graúdo utilizado foi o seixo rolado retido na peneira 4,75mm.

A Tabela 3 apresenta as séries de peneiras utilizadas no fracionamento, indicando as aberturas nominais de cada uma delas. Essas informações são cruciais para o processo de separação das partículas, permitindo a obtenção de frações granulométricas específicas.

Ao adotar a ABNT NBR 7211:2022 como referência, garante-se a padronização e a comparabilidade dos resultados obtidos nos ensaios, assegurando a consistência e a confiabilidade dos dados na análise granulométrica dos materiais estudados.



Tabela 3 - Conjuntos de peneiras da série normal e intermediária (abertura nominal)

Série normal	Serie intermediária
75 mm	-
-	63 mm
-	50 mm
37,5 mm	-
-	31,5 mm
-	25 mm
19 mm	-
-	12,5 mm
9,5 mm	-
-	6,3 mm
4,75 mm	-
2,36 mm	-
1,18 mm	-
600 $\mu\text{m}$	-
300 $\mu\text{m}$	-
150 $\mu\text{m}$	-

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 7211:2022



O processo de peneiramento dos grãos foi conduzido utilizando as peneiras recomendadas, por meio do método de agitação. O objetivo era obter uma separação eficiente das partículas, garantindo que a quantidade de material passante entre uma peneira e outra fosse minimizada.

Para realizar o peneiramento, cada amostra de agregado foi colocada na peneira correspondente e submetida a um processo de agitação controlada. Essa agitação promove a passagem das partículas pelos orifícios das peneiras, resultando na separação por tamanho.

Durante o processo de peneiramento, foram adotadas medidas para assegurar a precisão e a representatividade dos resultados. Buscou-se atingir o mínimo de material passante possível entre as peneiras, garantindo a exatidão na classificação granulométrica dos agregados. Dessa forma, ao realizar o peneiramento dos agregados e armazená-los corretamente, é possível obter amostras representativas de cada tamanho de partícula, essenciais para a análise granulométrica e o estudo das propriedades dos materiais.



## **Determinação de massa unitária e densidade**

### **Massa unitária**

Para estabelecer a densidade em massa, foi adotada a ABNT NBR 16972:2021 como base de referência. Na amostra de teste, utilizou-se um volume com 50% a mais da capacidade do recipiente, conforme indicado pelas diretrizes. Em seguida, a amostra foi submetida a um processo de secagem de 24 horas a uma temperatura de  $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ .

No método aplicado, o método A foi empregado para determinar a densidade em massa do material compactado, considerando que os agregados possuem uma dimensão máxima característica de 37,5 mm ou menor. Essa é a condição específica desta pesquisa, uma vez que os agregados de grande tamanho utilizados passam pela peneira de abertura 9,5 mm e são retidos na peneira de 4,75 mm.

De acordo com o método A, a primeira etapa



envolveu a determinação da massa do recipiente vazio. Em seguida, o recipiente foi preenchido com a amostra até um terço de sua capacidade e a superfície foi nivelada com os dedos, conforme especificado no item 8.2.1. A seguir, foram aplicados 25 golpes na camada de agregados utilizando uma haste de adensamento para compactá-la (item 8.2.2). Esse procedimento foi repetido para a segunda e terceira camada até preencher completamente o recipiente. Por fim, a camada superficial foi nivelada manualmente, alinhando-a com a borda superior do recipiente, e a massa foi determinada.

Após a conclusão dos procedimentos de teste, a densidade em massa foi calculada por meio de cálculos específicos.

$$P_{ap} = (m_{ar} - m_r) + F$$

(Equação 6)



Onde:

Pap - Massa unitária do agregado, expressa em quilogramas por metro cúbico (kg/m<sup>3</sup>);

mar - Massa do recipiente com o agregado, expressa em quilogramas (kg);

mr - Massa do recipiente vazio, expressa em quilogramas (kg); em metros cúbicos (m<sup>3</sup>);

F - Fator para o recipiente, expresso em 1/metro cúbico (1/m<sup>3</sup>).

## **Densidade do agregado miúdo**

Para a determinação da densidade, seguiu-se o procedimento conforme especificado na ABNT NBR 16916:2021. A amostra foi coletada e preparada de acordo com a ABNT NBR 16915, reduzindo-a para o ensaio. A quantidade de amostra utilizada foi de 2,5 kg, e os ensaios foram realizados em duplicata para garantir a precisão dos resultados.

Após espalhar a amostra em uma bandeja, foi



adicionada água potável suficiente para cobri-la por um período de  $(24 \pm 4)$  horas. Após o tempo estipulado, a água excedente foi removida e a amostra foi colocada em uma superfície, sendo frequentemente misturada para garantir que os grãos não fiquem aderidos entre si.

Em seguida, a amostra foi adicionada em um molde de tronco-cônico em três camadas, aplicando-se 25 golpes de compactação em cada superfície usando uma haste apropriada. Após o nivelamento, o molde foi removido verticalmente para verificar a aderência dos grãos, o que indica a adequação ou não da amostra em relação à sua umidade.

O procedimento para determinação da densidade utiliza uma quantidade de  $(500,0 \pm 0,1)$  gramas da amostra preparada (mB), que foi colocada em um frasco e a massa do conjunto (mC) foi determinada. O frasco foi preenchido com água potável até a marca de 500 mL, e o conteúdo foi agitado cuidadosamente com um bastão de vidro para eliminar bolhas de ar, mantendo-se a temperatura do banho constante a  $(23 \pm 2)$  °C. Cerca de uma hora depois,



completou-se o volume até a marca de 500 mL com água e determinou-se a massa total do conjunto com uma precisão de 0,10 g (mD).

Ao final do procedimento, a amostra foi levada à estufa a uma temperatura de  $(105 \pm 5)$  °C durante 24 horas. Após esse período, a amostra foi pesada e determinou-se a massa da amostra seca (mA) com uma precisão de 0,10 g.

A densidade do agregado na condição seca foi calculada utilizando a seguinte fórmula:

$$P_s = \frac{m_A}{V - V_a}$$

(Equação 8)

Onde:

$P_s$  - Densidade do agregado na condição seca, expressa em gramas por centímetro cúbico (g/cm<sup>3</sup>);

$m_A$  - Massa da amostra seca em estufa a  $(105 \pm 5)$  °C (7.3), expressa em gramas (g);

$V$  - Volume do frasco calibrado, em centímetros cúbicos (cm<sup>3</sup>);

$V_a$  -Volume de água adicionada ao frasco, de



acordo com seguinte equação, expresso em centímetros cúbicos (cm<sup>3</sup>):

$$V_a = \frac{mD - mC}{P_a}$$

(Equação 9)

Onde:

Mc - Massa do conjunto formado pela massa da amostra na condição saturada superfície seca, mais a massa do frasco (7.1), expressa em gramas (g);

mD - Massa da amostra na condição saturada superfície seca, mais a massa do frasco, mais a massa da água (7.2), expressa em gramas (g);

Pa - Densidade da água na temperatura do banho, expressa em gramas por centímetro cúbico (g/cm<sup>3</sup>).

A densidade do agregado na condição saturada superfície seca foi calculada utilizando a equação 6, conforme especificado na ABNT NBR 16916:2021.



$$P_{sss} = \frac{mB}{V - V_a}$$

(Equação 10)

Onde:

$P_{sss}$  - Densidade do agregado na condição saturada superfície seca, expressa em gramas por centímetro cúbico (g/cm<sup>3</sup>);

$mB$  - Massa da amostra na condição saturada superfície seca (7.1), expressa em gramas (g);

$V$  e  $V_a$  são apresentados em 8.1.

### **Determinação da densidade do agregado graúdo**

Nesse ensaio, devido à ausência de materiais e equipamentos específicos mencionados na normativa, foi adotada uma metodologia alternativa que proporcionou uma aproximação dos resultados desejados. O procedimento utilizado foi o seguinte:

Utilizando uma balança, foram pesados 500



gramas de agregado graúdo e reservados para uso posterior no ensaio. Em um Becker, foram adicionados 600 mL de água a uma temperatura de 23°C, seguindo as condições estabelecidas. Os agregados previamente pesados foram então adicionados ao Becker contendo a água. Em seguida, foi observada a variação de volume resultante da adição dos agregados ao meio líquido. Isso permite analisar a relação entre a massa dos agregados e o volume ocupado.

Com essa abordagem, foi possível obter um resultado aproximado da massa em função do volume dos agregados, mesmo sem a utilização dos equipamentos e procedimentos descritos na norma. É importante ressaltar que essa metodologia alternativa pode não ser tão precisa quanto a descrita na norma, mas permite obter uma estimativa razoável dos resultados desejados nas condições disponíveis.

## **Dosagem do concreto**

Para a dosagem da matriz de concreto, foi utilizado o método da Associação Brasileira de Cimento Portland



(ABCP) e os procedimentos de cálculo estão apresentados nos Anexos, I, II, III e Anexo IV. O Traço utilizado foi de 1:1,425:1,553:0,490.

## **Ensaio de abatimento do concreto**

Foi realizado o ensaio da amostra de concreto conforme as diretrizes estabelecidas na norma ABNT NBR 16889:2020. Nesse procedimento, a placa de base é utilizada como suporte, sobre a qual é posicionado o molde para o rápido preenchimento em três camadas de concreto. Cada uma dessas camadas corresponde a um terço da altura total do molde, garantindo a estabilidade constante do mesmo durante todo o processo. As camadas finais foram compactadas por meio de 25 impactos uniformes na seção, enquanto a camada inicial é compactada com metade desses impactos em formato espiral em direção ao centro. Após a remoção do molde, realizou-se as medições do slump do concreto, que consiste na diferença entre a altura do molde e a altura do eixo da matriz.



## Moldagem dos corpos de prova

De acordo com a norma ABNT NBR 5738:2015, os moldes devem ter uma dimensão mínima de três vezes a maior dimensão do agregado graúdo presente no concreto, logo foi utilizado o pedrisco, que de acordo com a norma tudo que fica retido na peneira de 4,75mm ainda é agregado graúdo. Para a preparação dos corpos de prova, foram utilizados moldes adequados de 5x10, com o objetivo de reduzir o consumo de materiais, levando em consideração que se tinha pouo.

O concreto será colocado nos moldes em um número de camadas determinado conforme as diretrizes da Tabela 4. Antes de iniciar o processo de compactação, o concreto foi nivelado para garantir uma superfície uniforme.

É importante ressaltar que os moldes devem estar de acordo com as especificações da norma, garantindo assim a qualidade e representatividade dos corpos de prova utilizados para os ensaios posteriores.



Tabela 4 – Número de camadas para moldagem dos corpos de prova

Tipo de corpo de prova	Dimensão básica (d)	Número de camadas em função do tipo de adensamento		Número de golpes para adensamento manual
		Mecânico	Manual	
Cilíndrico	100	1	2	12
	150	2	3	25
	200	2	4	50
	250	3	5	75
	300	3	6	100
	450	5	-	-

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5738:2015



O método de adensamento será selecionado conforme o abatimento esperado, de acordo com a Tabela 5.

Tabela 5 – Classes de consistência

<b>Classe</b>	<b>Abatimento mm</b>	<b>Método de adensamento</b>
S10	$10 \leq A < 50$	Mecânico
S50	$50 \leq A < 100$	Mecânico ou manual
S100	$100 \leq A < 160$	
S160	$160 \leq A < 220$	Manual
S220	$A \geq 220$	

Fonte: Conforme ABNT NBR 12142

Além disso, é importante ressaltar que durante o processo de adensamento manual dos moldes, é necessário garantir a distribuição uniforme do concreto, evitando a formação de vazios e segregação. Os golpes uniformes aplicados na seção transversal do molde auxiliam na eliminação de bolhas de ar e promovem uma compactação adequada.

A imersão dos corpos de prova cilíndricos em uma solução saturada de hidróxido de cálcio após a desmoldagem



tem como objetivo acelerar o processo de hidratação do concreto, promovendo o ganho de resistência necessário para a realização dos ensaios.

É importante ressaltar que os corpos de prova devem ser devidamente identificados e armazenados em condições adequadas durante o período de cura, a fim de garantir a qualidade dos resultados dos ensaios realizados após vinte e oito dias.

### **Ensaio de resistência característica à compressão simples**

O ensaio de resistência dos corpos de prova foi realizado de acordo com a norma ABNT NBR 5739:2018. Essa norma estabelece os parâmetros para o cálculo da área da seção transversal, com base no diâmetro do corpo de prova, bem como a determinação da altura adequada do corpo de prova.

Após o período de 28 dias de cura, os corpos de prova preparados foram submetidos ao ensaio de resistência característica à compressão simples. Os resultados obtidos



serão comparados com os valores estabelecidos na Tabela 6, que fornece os critérios de classificação da resistência do concreto.

É importante seguir as diretrizes e procedimentos detalhados na norma ABNT NBR 5739:2018 para garantir a precisão e confiabilidade dos resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão do concreto.

Tabela 6 - Tolerância para a idade de ensaio

<b>Idade de ensaio</b>	<b>Tolerância permitida h</b>
24 h	0,5
3 d	2
7 d	6
28 d	24
63 d	36
91 d	48
NOTA Para outras idades de ensaio, a tolerância deve ser obtida por interpolação	

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5739:2018

Com os equipamentos de ensaio devidamente



limpos, os corpos de prova são submetidos ao ensaio de desgaste por abrasão. Durante o ensaio, é importante seguir uma orientação clara e inequívoca para a ruptura. A velocidade de carregamento deve ser mantida constante e atingir cerca de  $(0,45 \pm 0,15)$  MPa, sendo aplicada de forma contínua e sem choques. O ensaio é encerrado quando uma queda na força indicar a ruptura dos corpos de prova. Para o cálculo da resistência à compressão do concreto, utiliza-se a seguinte expressão matemática normatizada:

$$f_c = \frac{4F}{\pi \cdot D^2}$$

(Equação 11)

Onde:

$f_c$  - Resistência à compressão, expressa em megapascals (MPa);  $F$  - Força máxima alcançada, expressa em newtons (N);

$D$  - Diâmetro do corpo de prova, expresso em milímetros (mm).



## Ensaio de absorção por capilaridade

O ensaio de absorção por capilaridade seguirá as diretrizes estabelecidas pela norma ABNT NBR 9779:2012, e serão utilizados três corpos de prova que atendam aos requisitos especificados pela norma.

Para determinar a absorção por capilaridade, os corpos de prova serão parcialmente imersos em água em um ambiente com temperatura de  $(23 \pm 2)$  °C. Os corpos de prova serão colocados em recipientes preenchidos com água, e durante o período de imersão, a massa saturada (msat) será determinada em intervalos de tempo de 3 horas, 6 horas, 24 horas, 48 horas e 72 horas.

Após a última determinação de massa, os corpos de prova poderão ser rompidos de acordo com a norma ABNT NBR 7222, utilizando o ensaio de compressão diametral.

Para expressar os resultados obtidos, será necessário realizar o cálculo da absorção de água por capilaridade utilizando a Equação 12 especificada na norma.



$$c = \frac{msat - ms}{S}$$

(Equação 12)

Onde:

C - Absorção de água por capilaridade, expressa em gramas por centímetro quadrado (g/cm<sup>2</sup>);

msat - massa saturada do corpo de prova que permanece com uma das faces em contato com a água durante um período de tempo especificado, expressa em gramas (g);

ms - massa do corpo de prova seco, assim que este atingir a temperatura de  $(23 \pm 2)$  °C, expressa em gramas (g);

S - área da seção transversal, expressa em centímetros quadrados (cm<sup>2</sup>).

## Método de Substituição

O método empregado envolve a substituição progressiva do resíduo pela areia, com base no volume



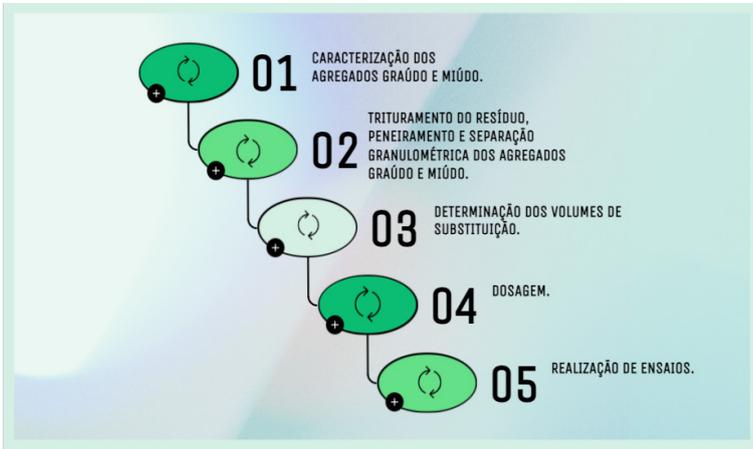
total de areia de referência, em diferentes granulometrias: 2,36mm, 1,18mm, 0,600mm, 0,300mm e 0,150mm. Inicialmente, aplicando uma taxa de substituição de 10%, remove-se 10% da areia de cada granulometria e compensa-se essa diminuição com o resíduo correspondente. Esse procedimento se repete em incrementos de 10% até alcançar 100% de substituição, momento em que o agregado miúdo será composto exclusivamente pelo resíduo.

## **Fluxograma de desenvolvimento**

Na Figura 2 a seguir se tem o fluxograma das etapas do trabalho.



Figura 2- Fluxograma



Fonte:Autor (2023)

É possível visualizar todas as etapas de uma maneira simplificada, proporcionando um entendimento satisfatório da pesquisa realizada.

## RESULTADOS

### Caracterização dos agregados

Durante a pesquisa, foi dada ênfase à avaliação da qualidade dos agregados que são materiais fundamentais na



produção do concreto. A composição granulométrica desses agregados foi minuciosamente analisada, considerando a distribuição das partículas de diferentes tamanhos. Além disso, a densidade, a massa unitária e a massa específica dos componentes também foram cuidadosamente examinadas. Os dados detalhados dessas propriedades estão apresentados na Tabela 7, fornecendo informações valiosas para o projeto e a dosagem do concreto.

Tabela 7 – Massa unitária compactada do agregado graúdo.

<b>Massa unitária compactada (Ag)</b>		
M água =	9,6	kg
Dens. (água)	997,40	kg/m <sup>3</sup>
M ar =	15,835	kg
M r =	0,745	kg
V recip. =	0,009625	m <sup>3</sup>
Densidade =	1670,218	kg/m <sup>3</sup>

Fonte: Autor (2023).

Além disso, foi realizada uma análise específica da densidade da areia de acordo com a norma ABNT NBR 16916:2021. Os resultados obtidos demonstraram valores



positivos de densidade para os agregados, indicando que ambos estão qualificados para uso na produção de concreto. Essa análise é crucial, pois a densidade da areia afeta diretamente as propriedades do concreto, como sua resistência, durabilidade e trabalhabilidade. A Tabela 8 contém as informações relativas à densidade da areia.

Tabela 8 – Densidade da areia.

<b>Densidade da Areia</b>		
mD =	955	g
mC =	680	g
Dens. (água)	0,9974	g/cm <sup>3</sup>
Va =	275,7169	cm <sup>3</sup>
V =	500	cm <sup>3</sup>
mA =	460	g
Densidade =	2,050979	g/cm <sup>3</sup>
Densidade =	2050,979	kg/m <sup>3</sup>

Fonte: Autor (2023).

Os resultados da análise da densidade do agregado graúdo (brita) foram considerados adequados, uma vez que as britas atendem aos requisitos de qualidade. Os dados



correspondentes foram incluídos na Tabela 9.

Tabela 9 – Densidade da brita.

<b>Densidade do Seixo</b>		
M seca =	300	g
Vol. Final =	710	cm <sup>3</sup>
Vol. Inicial =	600	cm <sup>3</sup>
Densidade =	2,727273	g/cm <sup>3</sup>
Densidade =	2727,273	kg/m <sup>3</sup>

Fonte: Autor (2023).

Apresenta-se a seguir uma análise geral da composição do conjunto, destacando as densidades dos materiais a serem empregados, os quais são considerados adequados para a pesquisa. Os resultados do experimento estão registrados na Tabela 10.



Tabela 10 – Massa específica dos componentes do concreto.

<b>MASSA ESPECÍFICA DOS AGREGADOS</b>		
Massa Específica da areia =	2050,979	kg/m <sup>3</sup>
Massa Específica da brita =	2727,273	kg/m <sup>3</sup>
Massa Específica do cimento =	2960,000	kg/m <sup>3</sup>
Massa Específica da água =	997,400	kg/m <sup>3</sup>
Massa unitária da brita =	1670,218	kg/m <sup>3</sup>

Fonte: Autor (2023).

Realizou-se a análise granulométrica da areia para verificar suas faixas de qualidade e investigar sua viabilidade como agregado miúdo natural. Os resultados obtidos atenderam às exigências normativas, sendo considerados aceitáveis. Os percentuais granulométricos do agregado miúdo natural estão apresentados na Tabela 11 a seguir.



Tabela 11 – Ensaio de percentuais de granulometria de agregado miúdo natural.

Aberturas de peneira (mm)	Areia 1				% em massa, retido, acumulado				
	Ensaio		Média	Retido (%)	Retido acumulado (%)	Limite inferior		Limite superior	
	1	2				Zona util. Fina	Zona ótima Média Fina	Zona ótima Média Grossa	Zona util. Grossa
9,5	0,000	0,000	0,00	0,00	0	0	0	0	
6,3	0,000	0,000	0,00	0,00	0	0	0	7	
4,75	0,000	0,000	0,00	0,00	0	0	5	10	
2,36	16,350	16,350	16,35	6,43	0	10	20	25	
1,18	25,790	25,790	25,79	10,14	5	20	30	50	
0,600	37,400	37,400	37,40	14,71	15	35	55	70	
0,300	91,360	91,360	91,36	35,94	50	65	85	95	
0,150	68,590	68,590	68,59	26,98	85	90	95	100	
0,075	14,730	14,730	14,73	5,79	100	100	100	100	
0,0375	0,000	0,000	0,00	0,00	100	100	100	100	
	254,2	254,2	254,22	100,00	100	100	100	100	
<b>Módulo de Finura</b>	<b>2,16</b>				<b>1,55</b>	<b>2,20</b>	<b>2,90</b>	<b>3,50</b>	

Fonte: Autor (2023).



Analisando a tabela 11 percebe-se que houve uma concentração maior nas peneiras 0,600 mm, 0,300 mm e 0,150 mm caracterizando uma areia entre a zona intermediária fina e a zona ótima media fina. A Figura 3 abaixo apresenta o fracionamento granulométrico realizado com todo o agregado miúdo.

Figura 3- Agregado Miúdo



Fonte: Autor (2023)

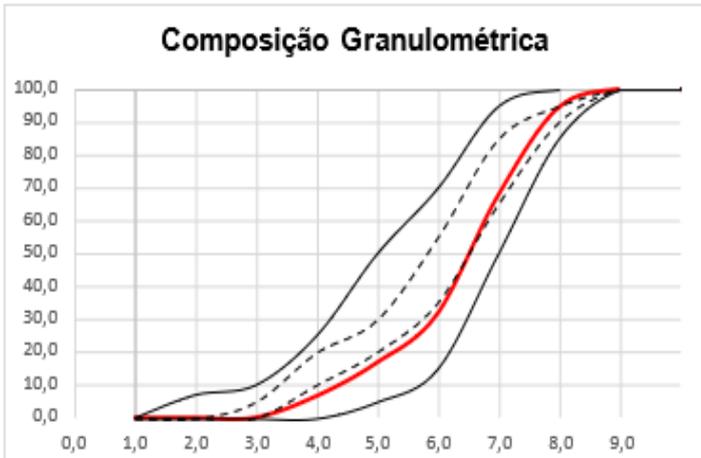
A Figura 3 representa a disposição granulométrica do agregado miúdo, com as frações de 2,36 mm, 1,18 mm, 0,600 mm, 0,300 mm e 0,150 mm, respectivamente.

Os resultados da Tabela 11 estão representados na



curva granulométrica no Gráfico 1 a seguir.

Gráfico 1 - Composição granulométrica da areia.



Fonte: Autor (2023).

A análise da curva granulométrica permite, mais uma vez, verificar a distribuição dos agregados miúdos na composição geral, notando-se uma predominância da linha vermelha (areia) abaixo do limite inferior, caracterizado por uma região com maior presença de finos, tal como os grãos retidos nas peneiras com abertura 0,600 mm, 0,300 mm e 0,150 mm. Em conformidade com Tutikian (2018), areias



com esse comportamento são preferivelmente utilizadas na dosagem de concretos especiais, como os autoadensáveis, por possuírem maior teor de finos, colaborando com o melhor desenvolvimento da trabalhabilidade.

## **Dosagem do concreto**

Após dosagem dos componentes, apresentada no Anexo IV, determinou-se a proporção unitária e em seguida o traço adequado, considerando a quantidade necessária para a fabricação dos corpos de prova e o volume para preencher o tronco de cone, a fim de executar o ensaio de abatimento. Os traços determinados estão apresentados em quilos na Tabela 12.

Tabela 12 – Traço determinado para confecção dos corpos de prova.

<b>Cimento</b>	<b>Areia</b>	<b>Brita</b>	<b>a/c</b>
1	1,425	1,655	0,490
4	5,699	6,618	1,960



Fonte: Autor (2023).

Com base no traço determinado, foi realizado um estudo para determinar as porcentagens de substituição do agregado miúdo natural pelo agregado miúdo reciclado. Essas porcentagens foram quantificadas em intervalos de 10%, sendo que a última porcentagem foi ajustada para suprir completamente o volume de areia. As Tabelas 13 e 14 fornecem as porcentagens necessárias para a formulação da dosagem.



Tabela 13 – Composição granulométrica da areia para o traço dos corpos de prova.

<b>SUBSTITUIÇÃO GRANULOMÉTRICA – AREIA</b>						
<b>Subst (%)</b>	<b>2,360</b>	<b>1,180</b>	<b>0,600</b>	<b>0,300</b>	<b>0,150</b>	
0,00	389,600	623,360	905,820	2133,060	1655,800	
10	350,640	561,024	815,238	1919,754	1490,220	
20	311,680	498,688	724,656	1706,448	1324,640	
30	272,720	436,352	634,074	1493,142	1159,060	
40	233,760	374,016	543,492	1279,836	993,480	
50	194,800	311,680	452,910	1066,530	827,900	
60	155,840	249,344	362,328	853,224	662,320	
70	116,880	187,008	271,746	639,918	496,740	
80	77,920	124,672	181,164	426,612	331,160	
90	38,960	62,336	90,582	213,306	165,580	
100	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	

Fonte: Autor (2023).



A Tabela 13 apresenta a substituição granulométrica da areia, que varia de 2,36 mm a 0,150 mm, de acordo com os percentuais de substituição variando de 0% a 100%. Destacando que o percentual de 100% será apenas de resíduo.



Tabela 14 – Composição granulométrica do resíduo de construção civil para o traço dos corpos de prova.

<b>SUBSTITUIÇÃO GRANULOMÉTRICA – RESÍDUO</b>						
<b>Subst (%)</b>	<b>2,360</b>	<b>1,180</b>	<b>0,600</b>	<b>0,300</b>	<b>0,150</b>	
10	38,960	62,336	90,582	213,306	165,580	
20	77,920	124,672	181,164	426,612	331,160	
30	116,880	187,008	271,746	639,918	496,740	
40	155,840	249,344	362,328	853,224	662,320	
50	194,800	311,680	452,910	1066,530	827,900	
60	233,760	374,016	543,492	1279,836	993,480	
70	272,720	436,352	634,074	1493,142	1159,060	
80	311,680	498,688	724,656	1706,448	1324,640	
90	350,640	561,024	815,238	1919,754	1490,220	
100	389,600	623,360	905,820	2133,060	1655,800	

Fonte: Autor (2023).



A Tabela 14 apresenta a substituição granulométrica de resíduo, variando da abertura da peneira de 2,36 mm a 0,150 mm. Essa substituição é feita com base nos percentuais de substituição de resíduo pela areia.

### **Ensaio de abatimento**

Após a homogeneização dos materiais, realizaram-se então os ensaios de abatimento (Slump test), obtendo os seguintes resultados destacados na Tabela 15.

Tabela 15 – Resultados de abatimento do concreto

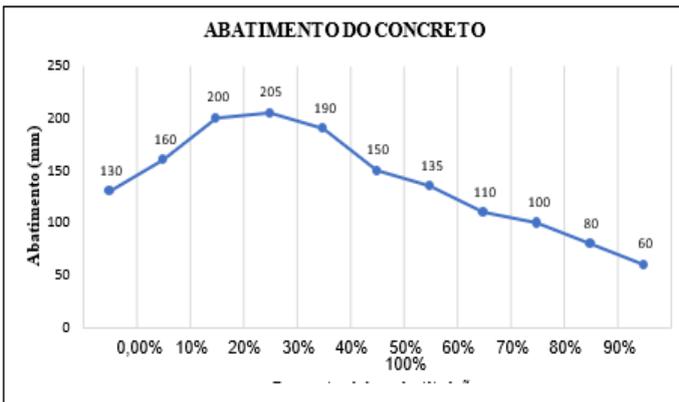
<b>Substituição</b>	<b>Abatimento (mm)</b>
0,00%	130
10%	160
20%	200
30%	205
40%	190
50%	150
60%	135
70%	110
80%	100
90%	80
100%	60



Fonte: Autor (2023)

Percebe-se que ocorreu uma variação no percentual dos agregados. Até o limite de 30%, quanto maior a dosagem de resíduo, maior era o abatimento. Entretanto, a partir desse ponto, à medida que se aumentava o percentual de substituição, ocorreu uma redução no abatimento. O Gráfico 2 ilustra a relação do abatimento pelo percentual de substituição.

Gráfico 2 – Resultados de abatimento do concreto



Fonte: Autor (2023)



O Gráfico 2 representa a relação do abatimento pelo percentual de substituição, sendo o melhor resultado obtido com o percentual de 30% de substituição, com um slump test de 205 mm, sendo um concreto bastante trabalhável. Já com 100% de substituição obtivemos o menor slump, que foi de 60 mm, sendo um concreto pouco trabalhável. O slump test com 100% de substituição de resíduo foi de 60mm, como demonstra a Figura 4.

Figura 4- Slump Test com 100% de resíduo



Fonte: Autor (2023)



O uso de diferentes valores de abatimento de concreto é fundamental na construção civil, uma vez que afeta diretamente as características do concreto e, conseqüentemente, o desempenho da estrutura. A aplicação de concretos com diferentes níveis de abatimento deve estar em conformidade com as diretrizes estabelecidas pela norma ABNT NBR 8953:2015, a fim de garantir o uso adequado desse material em diversas aplicações. A Figura 5 demonstra sua possível utilização.

Figura 5- Classes de Consistência

Classe	Abatimento mm	Aplicações típicas
S10	$10 \leq A < 50$	Concreto extrusado, vibroprensado ou centrifugado
S50	$50 \leq A < 100$	Alguns tipos de pavimentos e de elementos de fundações
S100	$100 \leq A < 160$	Elementos estruturais, com lançamento convencional do concreto
S160	$160 \leq A < 220$	Elementos estruturais com lançamento bombeado do concreto
S220	$\geq 220$	Elementos estruturais esbeltos ou com alta densidade de armaduras
<p>NOTA 1 De comum acordo entre as partes, podem ser criadas classes especiais de consistência, explicitando a respectiva faixa de variação do abatimento.</p> <p>NOTA 2 Os exemplos desta Tabela são ilustrativos e não abrangem todos os tipos de aplicações.</p>		

Fonte: Autor (2023)



A utilização de concreto produzido com resíduos ainda é um tópico de estudo em andamento, que requer uma avaliação minuciosa, especialmente no que diz respeito ao seu potencial uso em peças estruturais. É necessário analisar a viabilidade e a segurança dessa aplicação, levando em consideração fatores como a resistência, a durabilidade e as características específicas do concreto de resíduos..

### **Moldagem dos corpos de prova**

O molde do corpo de prova foi feito com material de PVC conforme demonstra a Figura 6, com as dimensões de 4,7cm de diâmetro e 9,4cm de altura. A desmoldagem é feita retirando- se o CAP do fundo e serrando o molde.



Figura 6 - Molde dos corpos de prova



Fonte: Autor (2023)

Após a desmoldagem, todos os corpos de prova foram submetidos à identificação e submersos em solução saturada de hidróxido de cálcio durante 28 dias, conforme indicado pela ABNT NBR 5739:2015.

### **Ensaio de resistência à compressão**

O diâmetro do corpo de prova foi verificado com o paquímetro digital, como visto na Figura 7.



Figura 7 - Verificação do diâmetro do corpo de prova



Fonte: Autor (2023)

Tabela 16 demonstra os resultados dos ensaios de resistência à compressão simples, relacionando com os resultados de abatimento e os percentuais de ganhos e perdas de resistência mecânica.



Tabela 16 - Resistência a compressão

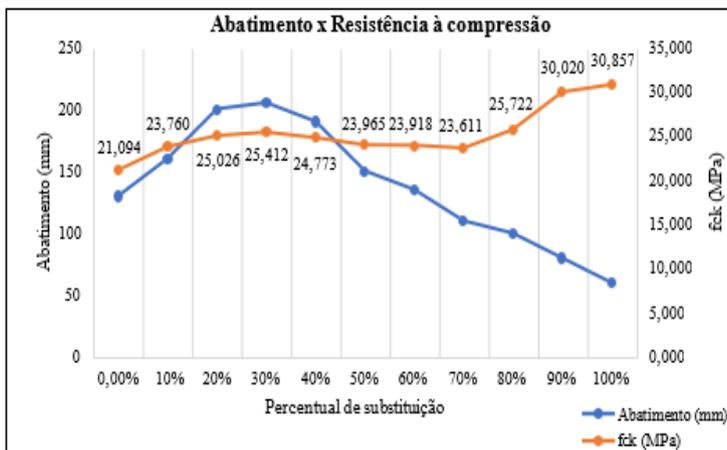
<b>Substituição</b>	<b>Abatimento (mm)</b>	<b>fck (MPa)</b>	<b>Ganho de resistência (%)</b>
0,00%	130	21,094	0,000
10%	160	23,760	12,639
20%	200	25,026	18,640
30%	205	25,412	20,470
40%	190	24,773	17,441
50%	150	23,965	13,611
60%	135	23,918	13,388
70%	110	23,611	11,932
80%	100	25,722	21,940
90%	80	30,020	42,317
100%	60	30,857	46,283

Fonte: Autor (2023)



A Tabela 16 demonstra os resultados da resistência a compressão, desde o percentual de 0% de resíduo, que foi o traço realizado apenas com o agregado miúdo, indo até ao percentual de 100% de substituição. Observamos que o maior ganho de resistência foi com 100% de substituição, tendo um ganho de 46,3%. O Gráfico 3 traz a relação do abatimento pela resistência a compressão.

Gráfico 3- Abatimento x Resistência a compressão



Fonte: Autor (2023)



O Gráfico 3 ilustra a relação do abatimento com a resistência a compressão, até o percentual de 30% de substituição notamos que a resistência aumenta conforme o aumento do abatimento. Após os 30% o abatimento começa a diminuir, mas a resistência a compressão se mantém na faixa de aproximadamente 23Mpa e começa a subir após os 80% de substituição, chegando a 30.8Mpa nos 100%.

### **Ensaio de absorção por capilaridade**

O ensaio de absorção por capilaridade foi realizado em um ambiente controlado de 24°C, e realizando as devidas pesagens nos horários de 0h, 24h, 48h e 72 horas. Os dados apresentados na Tabela 17 são provenientes da média de três corpos de prova. O resultado de cada amostra está no Anexo V. A Figura 8 evidencia o procedimento do ensaio de absorção de água por capilaridade dos corpos de prova.



Figura 8 - Ensaio de absorção de água por capilaridade.



Fonte: Autor (2023)

A Tabela 17 denota os resultados provenientes das pesagens dos corpos de prova durante o ensaio de absorção.



Tabela 17 - Resultados do ensaio de absorção capilar.

Ensaio de Absorção Capilar (média)									
Subst.	Massa seca (g)			Massa saturada (g)				Volume (g)	Absorção C (g/cm <sup>2</sup> )
	0h	3h	6h	24h	48h	72h			
A	0,00%	370,02	-	-	378,51	379,30	379,54	9,523	0,549
B	10,00%	372,36	-	-	382,66	383,71	384,08	11,713	0,675
C	20,00%	384,98	-	-	394,05	395,24	395,55	10,567	0,609
D	30,00%	371,46	-	-	385,34	386,96	385,45	13,993	0,807
E	40,00%	379,89	-	-	381,50	382,65	391,80	11,910	0,687
F	50,00%	372,74	-	-	382,82	384,49	384,74	12,003	0,692
G	60,00%	378,90	-	-	382,97	384,29	389,10	10,200	0,588
H	70,00%	380,91	-	-	389,01	390,35	390,83	9,923	0,572
I	80,00%	357,34	-	-	372,56	373,24	365,94	8,600	0,496
J	90,00%	380,563	-	-	389,007	389,773	390,263	9,700	0,559
K	100,00%	364,990	-	-	373,213	374,127	372,507	7,517	0,433

Fonte: Autor (2023)



A Tabela 17 apresenta os valores de absorção de água que cada grupo teve ao longo de 72h de ensaio. O grupo K com 100% de substituição teve a menor absorção enquanto o grupo D com 30% de substituição teve a maior absorção.

A Figura 9 indica o corpo de prova do grupo K com 100% de substituição, após o ensaio de absorção por capilaridade foi submetido a compressão diametral, observando assim altura aproximada em que a água atingiu durante o ensaio.

Figura 9 - Compressão diametral



Fonte: Autor (2023)

A verificação da ascensão pode indicar a possível presença de poros e a interligação entre estes, formando capilares de absorção.

## CONCLUSÃO

Com base na pesquisa realizada, foi observado que a produção de concreto incorporando resíduos provenientes de blocos de alvenaria estrutural, é promissora. Essa incorporação ocorre em substituição à areia natural, frequentemente empregada na fabricação do concreto na indústria da construção.

A análise evidenciou resultados favoráveis. No que diz respeito aos testes de resistência à compressão, todos os conjuntos de substituição examinados no estudo exibiram valores de resistência superior àquela demonstrada pelo concreto convencional com as mesmas proporções e condições de teste. Destaca-se o grupo K, que empregou



100% de resíduos, apresentando o maior incremento de resistência, alcançando um aumento notável de 46% em comparação com a mistura convencional.

Analisando os resultados referentes ao abatimento, destaca-se o grupo D por apresentar a mais alta consistência, registrando um abatimento de 205 mm, além de registrar um aumento notável de 20% na resistência à compressão. De forma geral, há uma tendência reconhecida de que um concreto com abatimento alto, geralmente além das diretrizes recomendadas, pode conter um teor excessivo de água, o que tem o potencial de impactar negativamente a resistência mecânica final.

Esse fenômeno ocorre em virtude da dispersão da pasta de cimento resultante do excesso de água, comprometendo a efetiva interação entre os elementos cimentícios e, conseqüentemente, resultando em redução de resistência. No entanto, no contexto do grupo D, onde se teve o melhor resultado de abatimento e compressão, observa-se uma dinâmica diferenciada. Pode ter ocorrido que algumas partículas de cimento não tenham hidratado



durante o processo de fabricação dos blocos de alvenaria.

Quando esse material foi triturado, reprocessado e entrou novamente em contato com a hidratação do concreto na fase de produção e essas partículas, antes em estado anidro, podem ter conferido maior resistência ao material. Aproveitando os benefícios decorrentes da substituição de materiais, a resistência final não foi afetada adversamente. Essa observação reforça a ideia de que por meio da substituição estratégica, é viável obter um concreto com boa resistência, utilizando-se de materiais RCC.

Por outro lado, no ensaio de absorção por capilaridade observou-se que todos os traços realizados com a substituição de resíduo, com exceção dos grupos I e K com 80% e 100% de substituição, respectivamente, apresentaram valores ligeiramente superiores de absorção na comparação com o concreto convencional. Isso pode ser explicado pela composição e distribuição dos poros no concreto resultante dessas misturas específicas.

Diante do exposto, os resultados mencionados indicam que a incorporação de resíduos de blocos de



alvenaria estrutural pode significativamente aprimorar a resistência do concreto. No entanto, faz-se necessário conduzir estudos mais aprofundados nessa temática, visando estabelecer uma relação mais favorável entre resistência à compressão e abatimento.

Sobretudo, essa prática sustentável desempenha um papel crucial na redução da extração de recursos naturais, isso, por sua vez, ajuda a preservar ecossistemas de áreas de mineração e a mitigar os impactos negativos associados à exploração de recursos naturais. Fora que, a incorporação de resíduos de blocos estruturais no concreto contribui para a redução do volume de resíduos de construção e demolição que são descartados em aterros, diminuindo o impacto ambiental e os custos associados ao gerenciamento desses resíduos. Isso está alinhado com princípios de economia circular, onde os materiais são mantidos em uso e valorizados por mais tempo, em vez de serem considerados lixo.



## REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 15112:2004. Resíduos da Construção Civil e Resíduos Volumosos - Áreas de Transbordo e Triagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.

ARÊAS, E. A. (2015). Alvenaria Estrutural: Princípios e Práticas. Editora Oficina de Textos.

BOTELHO, M. H. C. (2008). Alvenaria Estrutural: Aspectos Fundamentais e Aplicações. Editora Oficina de Textos.

DANTAS, R. T. (2010). Alvenaria Estrutural: Avaliação do Desempenho de Edifícios em Serviço. Editora Interciência.

BARROS, R. T.V. Elementos de gestão de resíduos sólidos. Belo Horizonte: Tessitura, 2012. 423p.

BREITBACH, Á. C. M. Indústria da construção civil – aretomada. Artigo científico, 2009.

BANTHIA, N.; CHAN, C. Use of recycled aggregate in plain and fiber-reinforced shotcrete. Concrete International, v. 22, n. 06, p. 41- 45, 2000



BASTOS, I. A.; CRUZ, L. F.; WOELFFEL, A. B. Fabricação de blocos de concreto para vedação com o uso de agregados reciclados em canteiro de obras. Revista Científica Faesa, Vitória, ES, v. 12, n. 1, p. 52-58, 2016.

CARVALHO, R.C.; FIGUEIREDO FILHO, J.R. Cálculo e detalhamento de estruturas usuais e concreto armado: segundo a NBR 6118:2014. 4. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2016. 415 p.

CHEN, H. J.; YEN, T.; CHEN, K. H. Use of buildings rubbles as recycled aggregates. Cement and Concrete Research, v. 33, p. 125-132, 2003.

COUTO NETO, A. G. Construção civil sustentável: avaliação da aplicação do modelo de gerenciamento de resíduos da construção civil do SINDUSCON-MG em um canteiro de obras - um estudo de caso. 2007. 87p. Mestrado em Construção Civil - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2007

EVANGELISTA, L.; BRITO J. Durability Performace of Concrete Made With Fine Recycled Concrete Aggregates. Cement and Concrete Composites, v. 32, n. 1, p. 9-14, jan. 2010.

GÓMEZ-SOBERON, J. M. V. Porosity of concrete with



substitution of recycled concrete aggregate: an experimental study. *Cement and concrete research*, v. 32, 2002, p. 1301-1311.

GIONGO, J. S. (2012). *Alvenaria Estrutural: Conceitos e Aplicações*. Editora Pini.

GUZI, D. Mensuração de resíduos de alvenaria em canteiro de obra. In: VI Encontro Nacional e IV Encontro Latino-americano sobre Edificações e comunidades Sustentáveis, 7, 2011, Vitória. Anais... Vitoria, set. 2011.

JOHN, V. M. Reciclagem de resíduos na construção civil – contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. 2000. 113 p. Tese (Livre Docência) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.

KIBERT, C. J.; SENDZIMIR, J.; GUY, G. B. Construction ecology and metabolism. In: CIB SYMPOSIUM IN CONSTRUCTION AND ENVIRONMENT: THEORY INTO PRACTICE, 2000, São Paulo, Brazil. Proceedings... [CD-ROM]. São Paulo: CIB, 2000. 8p

LIMA, J. A. R. Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduos de construção reciclado e suas aplicações em argamassas e concretos. 1999. 240 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)



-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

MARIANO, L.S. Gerenciamento de resíduos da construção civil com reaproveitamento estrutural: estudo de caso de uma obra com 4.000m<sup>2</sup>. 2008. 144 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2008.

NAGALLI, A. Gerenciamento de Resíduos Sólidos na Construção Civil. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. 176 p.

NETO, J. C. M. Gestão dos resíduos de construção e demolição no Brasil. São Carlos: RiMa, 2005.

OLORUNSOGO, F. T.; PADAYACHEE, N. Performance of recycled aggregate concrete monitored by durability indexes. Cement and Concrete Research, v. 32, p. 179-185, 2002.

PEREIRA, R. M., Barbosa, N. P.; Lima, A. M. (2020). Characterization of Concrete with Recycled Concrete Aggregates from Buildings. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 931(1), 012014.

PINTO, T. P. P. Utilização de Resíduos de Construção:



estudo do uso em argamassas. 1986. 137 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1986

RODRIGUES, C. R.S. 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, jan./mar. 2014.

SILVA, R. V; BRITO, J.; DHIR, R. K. Properties and composition of recycled aggregates from construction. *Construction and Building Materials*, v. 1, p. 201-217, apr. 2014.

SILVA, J. L. S. Environmental impact assessment of construction and demolition waste disposal using system dynamics. 2014

SILVA, J. C., MELO, T. M. S.; LEITE, M. B. (2017). Incorporação de Resíduos de Blocos de Concreto em Concreto Estrutural. *Revista Engenharia na Agricultura (REVENG)*, 25(2), 118-126.

SOUZA, F. R., L.; PINTO, L. C.; ALMEIDA, A. P. (2019). Concrete Produced with Construction Waste: Characterization and Mechanical Properties. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 31(10), 04019226.



SANTOS, T. M., SOUZA, A. S., OLIVEIRA, V. B., & PAULA, T. F. (2020). Avaliação da Incorporação de Resíduo de Blocos de Concreto em Concreto Estrutural. *Research, Society and Development*, 9(7), e150974101.

TAM, V. W. Y. Evaluation of environmental implications of construction waste: Case study approach. 2007.

VIEIRA, G. L.; DAL MOLIN, D. C. C. Viabilidade técnica da utilização de concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 4, n. 4, p. 47-63, out./dez. 2004.

XIAO, Z. Use of wastes derived from earthquakes for the production of concrete masonry partition wall blocks. *Waste Management*, v. 31, p. 1859-1866, may. 2011.

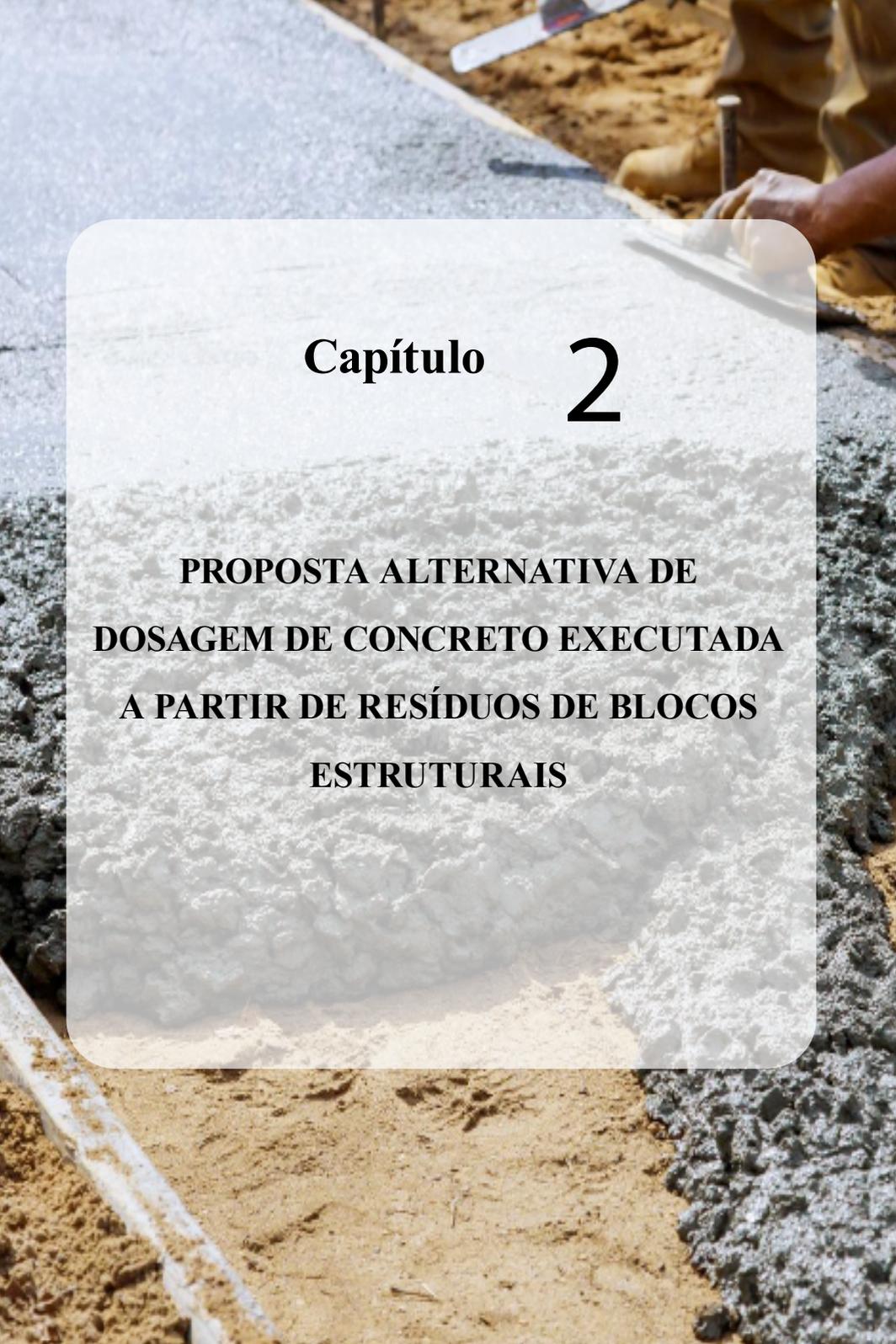
XIE, W., Poon, C. S.; Kou, S. C. (2019). Reuse of waste red clay brick as a pozzolanic material in cement mortar and concrete. *Construction and Building Materials*, 211, 120-129.

ZORDAN, S. E. Entulho da indústria da construção civil. Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da USP.



ZORDAN, A. P. (2012). Sustainable Management of Construction and Demolition Waste: Integrating Life Cycle Assessment and Life Cycle Cost Analysis.





# Capítulo 2

**PROPOSTA ALTERNATIVA DE  
DOSAGEM DE CONCRETO EXECUTADA  
A PARTIR DE RESÍDUOS DE BLOCOS  
ESTRUTURAIS**

# PROPOSTA ALTERNATIVA DE DOSAGEM DE CONCRETO EXECUTADA A PARTIR DE RESÍDUOS DE BLOCOS ESTRUTURAIS

## ALTERNATIVE PROPOSAL OF CONCRETE DOSAGE PERFORMED FROM STRUCTURAL BLOCKS RESIDUES

**Resumo:** A construção civil é um dos setores importantes que aquecem a economia do país. Em 2022 seu crescimento de 6,9%, alavancou diversos outros setores como, econômico e tecnológico. Em contrapartida o aumento deste mercado simboliza uma maior quantidade de resíduos de construção e demolição sendo gerados, visto que o consumo descontrolado de recursos naturais para a produção de bens, posteriormente poderão ser depositados inadequadamente no meio ambiente. A sustentabilidade



é um viés procurado constantemente no âmbito da construção civil, com o objetivo de reduzir a quantidade de materiais despejados exacerbadamente na natureza. A proposta deste trabalho é indicar como alternativa sustentável, a substituição de agregado miúdo natural por agregado miúdo reciclado provindo do tritramento de blocos de concreto estrutural, que seriam descartados pela fábrica por serem blocos com deformações geradas por impactos físicos. Com o uso da técnica, haveria redução na quantidade de materiais extraídos da natureza, controle da emissão de CO<sub>2</sub> associados à produção e transporte de materiais convencionais e diminuição do volume de resíduo de construção civil nos aterros sanitários. O presente trabalho por meio de técnicas sustentáveis e inovadoras, propôs o reaproveitamento de resíduos para a produção de concreto, fazendo a incorporação fracionada do agregado miúdo reciclado na matriz de concreto adotando teores de substituição graduais de 10 em 10 %, visando reduzir impactos ambientais, ocasionados pelo uso de materiais convencionais. Portanto, ao avaliar o comportamento do



concreto observou-se uma melhoria em sua trabalhabilidade ao incrementar aditivo e percebeu-se, ainda que a resistência a compressão alcançada pelo concreto reciclado superou os resultados do concreto de referência, visto que o concreto produzido com resíduos obteve valores de resistência entre 18,4 MPa a 24,4 MPa enquanto o concreto convencional possuiu 16,1 MPa de resistência, sendo possível afirmar que o concreto em estudo pode ser utilizado para fins comerciais.

**Palavras-chave:** agregados; concreto; propriedades; sustentabilidade.

**Abstract:** Civil construction is one of the important sectors that boost the country's economy. In 2022, its growth of 6.9% boosted several other sectors, such as economic and technological. On the other hand, the increase in this market symbolizes a greater amount of construction and demolition waste being generated, given that the uncontrolled consumption of natural resources to produce goods may later be inappropriately deposited in the environment.



Sustainability is a trend constantly sought in the context of civil construction, with the aim of reducing the amount of materials dumped excessively into nature. The purpose of this work is to indicate as a sustainable alternative, the replacement of natural fine aggregate with recycled fine aggregate coming from the crushing of structural concrete blocks, which would be discarded by the factory because they are blocks with deformations generated by physical impacts. Using the technique, there would be a reduction in the amount of materials extracted from nature, control of CO<sub>2</sub> emissions associated with the production and transport of conventional materials and a reduction in the volume of construction waste in landfills. The present work, through sustainable and innovative techniques, proposed the reuse of waste to produce concrete, making the fractional incorporation of recycled fine aggregate into the concrete matrix, adopting gradual replacement levels of 10%, aiming to reduce environmental impacts, caused by the use of conventional materials. Therefore, when evaluating the behavior of concrete, an improvement in its workability was



observed when increasing the additive and it was noted that, even though the compressive strength achieved by recycled concrete surpassed the results of the reference concrete, since the concrete produced with waste obtained resistance values between 18.4 MPa and 24.4 MPa while conventional concrete had around 16.1 MPa of resistance, making it possible to state that the concrete under study can be used for commercial purposes.

**Keywords:** aggregates; concrete; properties; sustainability.

## INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é um dos setores mais importantes que aquecem a economia do país, no ano de 2022 seu crescimento de 6,9% segundo (IBGE, 2022), alavancou diversos outros setores como, econômico e tecnológico. Em contrapartida o aumento do setor simboliza aumento na quantidade de resíduos de construção e demolição gerados, visto que o consumo descontrolado de



recursos naturais para a produção de bens, posteriormente poderão ser depositados inadequadamente no meio ambiente (Degani, 2003).

Os resíduos produzidos por uma obra são obtidos durante o processo de reforma, construção, reparos, demolição e escavação de terrenos. Sendo esses materiais reutilizáveis como agregado (Classe A), recicláveis com outra destinação (Classe B), resíduos que não possuem tecnologia de reciclagem (Classe C) e resíduos perigosos (Classe D) (CONAMA, 2002). De certo modo, a produção acelerada deste setor gera uma quantidade excessiva de resíduos despejados no meio ambiente. A utilização de agregados reciclados surge como uma solução para a redução de entulho (Angulo; Zordan; Jonh, 2001).

Dentro da classe A, encontra-se os resíduos de concreto que quando sofrem o processamento de britagem tornam-se uma excelente matéria-prima para o uso em dosagens de concreto. O manuseio do material no concreto ocasiona melhorias no desempenho (Carneiro, 2001). Após a britagem o material tem a granulometria semelhante as



dimensões do agregado natural. Rodrigues (2011), qualificou a granulometria dos agregados reciclados de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009) e comprovou que estes estavam dentro dos limites estabelecidos.

Portanto, esta pesquisa tem o objetivo de propor o reaproveitamento dos resíduos provenientes de blocos de concreto estrutural que seriam descartados como rejeitos, substituindo parcialmente a função do agregado miúdo natural na matriz de concreto. Desta forma, com a incorporação espera-se que se alcance resultados de resistência a compressão e abatimento superiores aos concretos convencionais, havendo também economia devido o reaproveitamento dos agregados miúdos e, conseqüentemente, maior contribuição em preservação do meio ambiente, reduzindo o índice de descartes de resíduos provenientes da construção civil.

## **JUSTIFICATIVA**

O Brasil gera anualmente 60% do lixo sólido



urbano, sendo essa quantidade de material vindos da construção civil, um dos maiores setores ocasionadores de danos ao meio ambiente (Torres, 2011). Outra problemática enfrentada é a alta exploração de recursos naturais para benefício do setor da construção. A ONU (Organização das Nações Unidas) publicou no ano de 2022, orientações a serem adotadas para melhores práticas de exploração e gestão da areia. Em seu documento a ONU explica que, “A mineração de areia nos leitos dos rios leva à degradação do solo, erosão, a salinização das águas subterrâneas e a destruição da vegetação”.

Desta maneira, faz-se necessário o estudo de técnicas que visem o reaproveitamento desses resíduos, a fim de reduzir o consumo de recursos naturais, estimular a aplicação da reutilização de RCC (resíduo de construção civil), reduzir a emissão de CO<sub>2</sub> provindos da exploração e transporte de materiais convencionais e a diminuição da quantidade de RCC encaminhados para aterros.

Através do processo de moagem desses resíduos, é possível obter frações que se igualam à granulometria



do agregado miúdo, possibilitando a incorporação desses resíduos através de uma metodologia de substituição em percentuais. Esta prática pode desenvolver uma redução considerável no volume de extração desta matéria prima, resultando em menores impactos ambientais diretos e indiretos causados no processo de retirada da natureza, além de propor o reuso e agregar valor a um material que seria provavelmente descartado.

Pavezi (2018), em sua pesquisa, optou por fazer a substituição de agregado miúdo natural pelo resíduo de construção civil, em porcentagens de 25%, 50%, 75% e 100%. O autor observou diversas características apresentadas pelo concreto, tais como, abatimento, resistência a compressão, módulo de elasticidade e absorção de água. Em suas conclusões Pavezi, afirma que o resíduo é um material poroso que perde a trabalhabilidade ao aumentar o percentual de substituição. Dessa maneira, o presente trabalho busca apresentar melhores resultados voltados para o abatimento e resistência a compressão no concreto, adotando um leque maior de substituições e



mecanismos tecnológicos/químicos para o melhoramento da composição da massa de concreto.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo geral**

Analisar o desempenho da matriz de concreto através da substituição gradual do agregado miúdo natural por agregado miúdo proveniente do tritramento de resíduos de fábricas: blocos de concreto.

### **Objetivos específicos**

- Verificar o comportamento do concreto simples no estado fresco e endurecido através de ensaios de abatimento e resistência a compressão simples;
- Apresentar as vantagens e desvantagens da incorporação de resíduos;
- Analisar a atuação do aditivo plastificante incorporado a matriz.



## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### Concreto

O segundo material mais consumido no mundo é o concreto, sendo caracterizado como um material composto, constituído pelos elementos, cimento, água, agregado miúdo, agregado graúdo e ar. Essa composição pode contar com adições de cinzas volante, pozolanas, sílica ativa, dentre outros. e de aditivos químicos, que são substâncias com o propósito de melhorar ou modificar as características fundamentais de uma substância (Couto et al., 2013).

As características do concreto incluem durabilidade, resistência e plasticidade, possibilitando a formação dos elementos estruturais durante a execução no canteiro, por meio de fôrmas e moldes. Do ponto de vista econômico, o concreto permanece como a escolha preferencial na maioria das situações. Sua versatilidade é incomparável, não sendo igualada por outros materiais (Diniz, 2009).



## Cimento

O cimento Portland é amplamente empregado na construção civil, esse material é caracterizado como um pó fino que possui propriedades aglomerantes, aglutinantes e ligantes, que ao entrar em contato com a água após um período endurece. Ao concluir o processo de endurecimento o material mesmo que submetido novamente a água mantém sua integridade. Desta maneira, o concreto após solidificar-se ganha resistência e durabilidade, passando a ser um material indispensável para as atividades construtivas, devido as diversas aplicações em que pode ser empregado (ABCP, 2002).

Segundo Castro (2021), o cimento é produzido por meio da junção de calcário (carbonato de cálcio) e argila (silicatos de alumínio de ferro) sob altas temperaturas. Castro também complementa que, a composição do cimento pode variar, e isso poderá influenciar suas propriedades no estado fresco e/ou endurecido. Desta maneira, o cimento além de ter diferentes composições terá também variadas



características. Dentre as mais comuns pode-se citar: Cimento Portland Pozolanico, Cimento Portland de alta resistência inicial, Cimento Portland tipo II e Cimento Portland Comum.

## **Agregado**

A qualidade dos agregados tem suma importância visto que pelo menos 3/4 do volume de concreto é constituído por agregados. Os agregados têm a capacidade de influenciar a resistência do concreto, pois caso contrário se apresentarem propriedades indesejáveis podem comprometer a resistência do concreto. Sendo assim, as propriedades dos agregados podem exercer impacto na durabilidade e no desempenho estrutural do concreto (Neville, 2016).

A ABNT NBR 7211 assegura que para produzir de concretos de alta qualidade é necessário realizar a classificação dos agregados separando-os entre miúdos com dimensões inferiores 4 mm e graúdos com dimensões mínimas de 5 mm (Neville, 2016).



“A resistência do concreto pode ser considerada como sendo função, principalmente das resistências da pasta de cimento endurecido, da aderência entre a pasta e o agregado e da resistência intrínseca do agregado” (Rodrigues, 1998). Desta forma, a resistência se mostra influenciável na resistência do concreto, a partir dessa informação torna-se essencial que os agregados ganhem mais atenção durante a sua escolha e dosagem.

## Água

A água de amassamento deve ser potável não contendo em sua composição substâncias orgânicas indesejáveis, visto que seu alto teor de matéria pode ser prejudicial para a formação da massa cimentícia. Tal restrição garante que menos de 2.000 parte por milhão (ppm) de sólidos orgânicos estejam presentes na água, e que ao menos 1.000 (ppm) estejam presentes na constituição. Como comparação, se utilizar uma relação de água/cimento de 0,50 apenas estará presente na composição 0,05% de



sólidos na massa de cimento, desta forma as reações criadas por tais substâncias serão inofensivas (Neville, 2016).

Outro fator nocivo correlacionado a água de amassamento é a sua dosagem desproporcional. Com a dosagem correta do concreto obtém-se menos consumo de materiais como, por exemplo, o cimento. Além disso, com a dosagem adequada são evitados problemas com atraso de cronograma de obras, visto que a quantidade de água é proporcional ao tempo de cura, também evita perda de resistência e impermeabilidade do concreto (Gimenes et al., 2013).

## **Aditivos**

Com o propósito de melhorias e novas soluções que garantam a qualidade física do concreto com valor de custo reduzido, passou-se a utilizar os aditivos. Aditivos são compostos químicos incorporados ao concreto com o intuito de modificar as propriedades normais do concreto. A NBR 11768 (ABNT, 2019, p.5), define o aditivo plastificante



ou redutor de pega como sendo substâncias químicas que sem modificar a consistência do concreto proporciona a diminuição de água na massa, aumentando a fluidez e abatimento.

A adição correlacionada ao desenvolvimento desta pesquisa segundo Neville (2016), é classificada de acordo com a ASTM C 494 – 10, sendo esse um redutor de água (Tipo A). As adições redutoras de água garantem uma redução da relação água/cimento, enquanto a trabalhabilidade do material é mantida, o teor de água pode ser reduzido de 5 a 10%.

Tornou-se interessante a incorporação do aditivo, visto que o seu incremento pode melhorar a relação água/cimento, evitando o risco de patologias no concreto, tais como excesso de poros e baixa resistência. Almeida (2012), a firma que, quando o concreto é completamente adensado, a resistência tende a ser inversamente proporcional à relação água/cimento, o que significa que, em geral, uma menor relação água/cimento está associada a uma maior resistência.



## Propriedades do concreto

### Estado fresco

O termo “concreto em estado fresco” é atribuído à condição em que a pasta ainda se mantém fluida ou plástica, permitindo a reorganização das partículas constituintes por meio de alguma ação dinâmica (Sobral, 2000).

O concreto no estado fresco é caracterizado como uma mistura que ainda não iniciou o processo de pega, e que se mantém no estado plástico e maleável. Nesse estágio é importante que o concreto se mantenha íntegro as propriedades, para que facilite o seu transporte, lançamento e adensamento sem risco de segregação dos componentes (Almeida, 2012).

O grau de adensamento é um item de relevância na resistência do concreto, visto que o processo de adensamento permite que os vazios sejam eliminados na mistura, resultando em um produto mais compacto e resistente. Em conjunto a resistência adequada da mistura assegura que



o concreto seja manipulado e colocado de forma eficiente durante a construção (Neville, 2016).

## **Estado endurecido**

O material endurecido é resultante da mistura de seus componentes após a conclusão do processo de pega do aglomerante. Depois do seu endurecimento, o concreto adquire propriedades importantes como a resistência a compressão, que é assegurado quando feito corretamente a cura da mistura, a resistência também é influenciada pelo peso específico do material.

O peso específico do concreto endurecido depende de muitos fatores, principalmente da natureza dos agregados, da sua granulometria e do método de compactação utilizado que será maior quando o peso específico também for alto e quanto mais quantidade de agregado graúdo conter (Almeida, 2012).

O desenvolvimento da tecnologia na construção está proporcionando melhoria na qualidade do concreto.



Essas demandas crescentes, em sua maioria, direcionam-se ao concreto endurecido, pois suas propriedades finais são críticas para a durabilidade e o desempenho estrutural. Entretanto, observa-se que as características do concreto fresco e endurecido estão interligadas, demandando uma consideração simultânea. Isso significa que não é viável produzir concreto endurecido de alta qualidade se o concreto no estado plástico não apresentar propriedades satisfatórias. Essa compreensão ressalta a importância de assegurar que o concreto, desde a sua fase moldável até a sua forma final endurecida, atenda aos padrões exigidos para garantir a excelência na construção e a durabilidade das estruturas (Sobral, 2000).

## **Resíduos**

Devido as limitações na produção de agregados naturais, os impactos ambientais prejudiciais resultantes da exploração de matéria-prima natural e a significativa quantidade de RCD gerada, aliadas as práticas incorretas



de disposição desses resíduos, resultam na criação de estímulos para a realização de estudos voltados à reciclagem dos resíduos de construção e demolição (Neto; Sales; Sales, 2018).

Brasileiro e Matos, em seu artigo concluíram que o resíduo pode ser uma alternativa de obtenção de agregado considerada satisfatória, podendo ser empregada na produção de outros materiais de alta qualidade.

“[...] O RCD serve de matéria-prima para agregados de ótima qualidade, podendo ser utilizados num leque de variedades de processos construtivos: confecção de tijolos, blocos pré-moldados, meio-fio, calçadas, argamassa de revestimento, camadas de base e sub-base, pavimentos, entre outros.” (Brasileiro e Matos, 2015, p.179).

Dessa forma, o resíduo além de ser uma proveitosa alternativa sustentável, também é uma boa tática de economia, visto que busca pela redução do consumo de recursos naturais e redução de gastos.



Gonçalves (2001), em suas pesquisas observou durante a análise do concreto no estado fresco que existe uma perda na trabalhabilidade quando são usados resíduos reciclados, posto que resíduos são materiais mais porosos que agregados naturais. Já em relação ao estado endurecido, a retração e absorção da água do concreto reciclado pode ser maior do que se comparado com concretos convencionais, o autor explica que tal fato se dá, devido ao baixo valor do módulo de elasticidade dos agregados reciclados.

## **Sustentabilidade**

Os resíduos de construção e demolição são fruto das atividades da construção civil que por algum motivo seriam descartados, tais como fragmentos de concreto de cimento Portland, argamassas, blocos de alvenaria, telhas, placa cerâmicas, aço, plástico, papel, madeira, dentre outros (Neto; Sales; Sales, 2018). Ao fazer a deposição irregular dos resíduos da construção civil pode-se ocasionar uma série de impactos ambientais nos recursos hídricos como



problemas à saúde, poluição das águas e do solo, e danos estéticos às cidades (Paz et al., 2018).

Segundo Tam, Soomro e Evangelista (2018), os resíduos de RCC constituem uma parcela importante da produção total de resíduos sólidos no mundo, alguns estudos informam que aproximadamente 90% dos resíduos que são encaminhados para aterros podem ser reciclados e reutilizados.

De acordo com Alves e Lins (2022), inúmeros estudos estão sendo desenvolvidos, para que haja um maior reaproveitamento destes resíduos, pois acredita-se que as políticas de gestão de resíduos podem reduzir cerca de 15% as emissões globais de CO<sub>2</sub>, além de aumentar o valor de materiais que de outra forma seriam descartados.

Brasileiro e Matos, também explicam que a construção civil está sempre correlacionada aos impactos ambientais, que ocasionalmente são decorrentes de sua produção.

“Para conseguir esta desvinculação são necessárias ações: redução do



consumo de matérias primas, que pode ser obtido pela redução e reciclagem de resíduos, aperfeiçoamento de projetos, substituição dos materiais tradicionais por outros mais eficientes e aumento da durabilidade dos produtos; redução do consumo de energia (especialmente a produzida pela queima de combustíveis não renováveis); redução global da poluição (incluindo resíduos).” (Brasileiro e Matos, 2015, p.180).

Deste modo, é exposto que a falta de sustentabilidade está entrelaçada a construção civil e que tal fato pode gerar impactos nesse setor. Com o intuito de impedir com que a indústria da construção reflita imagens negativas são necessárias a tomada de atitudes descritas pelos autores.

## **Ensaios**

### **Ensaios de abatimento do concreto.**

O ensaio é utilizado comumente nas obras e canteiros para medir a consistência da mistura cimentícia,



sendo muito útil na verificação de uniformidade do concreto em determinadas proporções (Nevill, 2016).

O ensaio também conhecido pela nomenclatura de slump test é um método padrão utilizado para determinar a trabalhabilidade do concreto ainda no estado fresco. O ensaio que determina como a amostra do concreto deve ser ensaiada em laboratório é a ABNT NBR 16889:2020, Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.

A ABNT NBR 16889:2020, determina que sobre a placa de base deve-se colocar o molde para o preenchimento rápido de três camadas de concreto, tendo cada uma delas um terço da altura do molde, mantendo constante a estabilidade do molde durante o processo. Adensa-se as últimas camadas com 25 golpes uniformemente sobre a seção, enquanto a primeira adensa com metade dos golpes em forma de espiral até o centro. Após a retirada do molde coleta-se as medidas do abatimento do concreto determinando a diferença entre a altura do molde e altura do eixo da matriz.



## Ensaio de resistência à compressão simples

A resistência a compressão simples é um ensaio regido pela ABNT NBR 5739:2018, que se trata de um método empregado para analisar a capacidade de um material de resistir a forças de compressão direta. O ensaio fornece informações sobre a aptidão máxima do concreto ao receber solicitações externas, averiguando o quanto esse material pode resistir. Tal conhecimento prévio, permite ter um maior controle sobre o concreto produzido, permitindo um melhor dimensionamento e segurança da estrutura.

Por meio da ABNT NBR 5739:2018, determina-se o diâmetro para o cálculo da área da seção transversal e a altura do corpo de prova. Assim, os corpos de prova poderão ser submetidos ao ensaio de resistência característica a compressão simples após o período de 28 dias. Com os aparelhos de ensaio limpos submete-se os corpos de prova ao desgaste por abrasão. O ensaio se encerra após identificar uma queda de força indicando a ruptura dos corpos. A resistência à compressão será calculada por meio de



expressões matemáticas normatizadas.

## **PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS**

### **Natureza da pesquisa**

Com o intuito de alcançar os objetivos desta pesquisa, optou-se por gerar interesse sobre informações de novas técnicas difundidas na construção civil, por meio de comparativos com diversas outras literaturas. A metodologia empregada foi a pesquisa experimental, que busca estabelecer relação de causa e efeito, entre variáveis referenciais. Segundo Gil (1999), “O método experimental consiste essencialmente em submeter os objetos de estudo à influência de certas variáveis, em condições controladas e conhecidas pelo investigador, para observar os resultados que a variável produz no objeto.”

### **Tipo de pesquisa**

Como parâmetro, elegeu-se a pesquisa exploratória



para guiar esse trabalho, no qual apresenta um referencial bibliográfico vasto, onde cada qual apresentam estudos semelhantes ao explorado por essa pesquisa. Em suas pesquisas Gil (1999), apresenta a pesquisa exploratória como sendo um objeto que têm como principal finalidade desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias.

## **Áreas da pesquisa**

A linha de pesquisa deste trabalho é voltada para o campo da construção civil, com ênfase em materiais de construção, gestão ambiental e gerenciamento de resíduos. O estudo deu prioridade a análise do comportamento do concreto dosado com resíduos de artefatos de concreto.

## **Coleta de dados**

A empresa V.V.G. Engenharia, com sede no município de Barra do Garças - MT, forneceu todo o volume de resíduos previamente triturados, seu fornecimento foi



de 2023/1 até 2024/1. A partir disso, tanto o RCC quanto a areia foram transferidos para a estufa, no laboratório de solos da Universidade do Estado de Mato Grosso, campus Nova Xavantina, onde permaneceram por 24 horas à temperatura de 100°C, conforme a ABNT NBR 7211:2022. Em seguida, o material foi retirado da estufa para o processo de resfriamento natural. Tal processo é fundamental para que toda a umidade desses materiais seja retirada, pois ao utilizar agregados com excesso de partículas de água pode provocar alterações na característica do concreto produzido.

Os materiais constituintes da matriz de concreto dosada são os agregados, cimento, aditivo e água. Os agregados naturais miúdos e graúdos, foram obtidos no depósito amarelinho, com sede no município de Nova Xavantina. A Areia adquirida teve que passar por processo de peneiramento fracionado para atingir as necessidades desta pesquisa, enquanto a brita fora peneirada ainda no depósito, sendo ela passante na peneira 12,5 mm e retida na 9,5 mm.

O aditivo selecionado para suprir as necessidades



deste trabalho é o aditivo plastificante/reductor de água, comprado na empresa Amazon Serviço de Varejo do Brasil. O produto de marca Sika é um aditivo líquido com efeito plastificante, desenvolvido para diversos tipos de cimento. A água utilizada na confecção do concreto e na saturação dos corpos de prova, é considerada água potável sendo ela incolor, insípida e inodora, posto isso ela é fornecida pela rede de distribuição de água de Nova Xavantina. Já o cimento comprado no comércio local, na empresa Center Fios, sendo da marca Tocantins, tipo CP, adição de Filer e resistência 32 MPa.

## **Classificação de agregados**

Como referência, foi adotada a ABNT NBR 7211:2022 para tratar dos agregados, a NBR indica que as partículas miúdas são os materiais passantes na peneira com abertura 4,75 mm e retidos nas peneiras 2,36 mm, 1,18 mm, 600  $\mu\text{m}$ , 300  $\mu\text{m}$  e 150  $\mu\text{m}$ .

O peneiramento dos grãos foi realizado nas peneiras



pelo processo de agitação até que se tenha o mínimo de material passante entre uma peneira e outra. Os resíduos de blocos de concreto tiveram que passar por beneficiamento ao fim do processo de segregação de granulometrias, por meio de triturador para que o peneiramento atingisse maiores volumes das menores granulometrias passantes nas peneiras.

Deste modo, a Figura 1 mostra o processo de obtenção de granulometrias do agregado miúdo natural a partir do fracionamento das partículas.



Figura 1- Processo de fracionamento de agregado miúdo  
(areia)



Fonte: Autor (2023).

Deste modo, a Figura 2 mostra os agregados miúdos naturais após peneirados, foram armazenados em sacos plásticos de acordo com a sua granulometria.



Figura 2 - Armazenamento de areia conforme a granulometria



Fonte: Autor (2023).

O mesmo processo de obtenção e armazenamento foi adotado para obter os agregados miúdos reciclados, a Figura 3 mostra o material armazenado de acordo com sua granulometria.



Figura 3 - Armazenamento de resíduo conforme a granulometria



Fonte: Autor (2023).

A Figura 4, mostra como foi feita a separação do material de acordo com as porcentagens, nesta imagem é possível ver que a areia e o resíduo de blocos estruturais foram armazenados em sacos com identificação.



Figura 4 - Armazenamento de traços prontos



Fonte: Autor (2024).

## **Determinação de massa unitária e densidade**

### **Massa unitária**

Para a determinação da massa unitária tomou-se como referência a ABNT NBR 16972:2021 - Agregados – Determinação da massa unitária e do índice de vazios. No procedimento foi utilizado o método A que deve ser empregado para determinar a massa unitária de material compactado, quando os agregados tiverem dimensão



máxima característica de 37,5 mm ou menor, sendo está a condição desta pesquisa, pois os agregados graúdos utilizados são os passantes na peneira com abertura 12,5 mm e retida na 9,5 mm.

Pelo método A, determinou-se a massa do recipiente vazio, preencheu o recipiente com a amostra até um terço de sua capacidade e nivelou a superfície, de acordo com o item 8.2.1. Em sequência, com a haste de adensamento, foram aplicados 25 golpes na camada de agregados para efetuar o adensamento (item 8.2.2). Este procedimento foi repetido para a segunda e terceira camada (preenchimento total do recipiente). Por fim, nivelou-se a camada superficial, de forma a rasá-la com a borda superior do recipiente e determinou-se a massa.

### **Densidade do agregado miúdo**

Para a determinação da densidade fez-se a preparação da amostra de ensaio com base na ABNT NBR 16916:2021, onde coletou-se a amostra e reduziu para



o ensaio conforme a ABNT NBR 16915. Desta forma, o procedimento da determinação da densidade utilizou 500 gramas de amostra de agregado seco previamente pesada e colocou-a em imersão em 500 ml de água por 1 hora. Após o período de imersão, o excesso de água superficial foi removido e a amostra foi pesada novamente. A análise da absorção de água foi feita através da variação entre as duas massas obtidas, e dividida pela massa seca.

### **Determinação da densidade do agregado graúdo**

Para este ensaio, devido à ausência de materiais e equipamentos contemplados pela ABNT NBR 16917:2021, utilizou-se a metodologia que proporcionou uma aproximação do resultado do seguinte modo: com o auxílio de balança, foram pesados 500 gramas de agregado graúdo e em seguida, reservados. Posteriormente, foram adicionados 600 ml (23°C) de água em um Becker e adicionado os agregados previamente pesados para analisar a variação de volume, obtendo um resultado de massa em função de um



volume.

## **Método de dosagem**

Para a dosagem da matriz de concreto foi utilizado o método da Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP.

Em conjunto fora aderido à pesquisa o uso de 2% de aditivo, portanto utilizou-se a ABNT NBR 11768:2019, que descreve o aditivo como sendo um produto que quando atribuído ao concreto modifica as propriedades da massa no estado fresco e/ou no estado endurecido, desta forma não é recomendado o uso de quantidades superiores a 5% da massa de ligante contida no concreto.

De acordo com essa metodologia, foi estipulado o teor de argamassa e agregados graúdos, quantidade de cimento, areia, brita, água e aditivo plastificante redutor de água. Inicialmente, foi estabelecido o valor mínimo de água de 1900 ml, onde esse valor foi reajustado para melhorar a consistência da massa de concreto. A Tabela 1 apresenta o



traço utilizado para a produção do concreto de estudo.

Tabela 1 - Traço universal para estudo de dosagem

Traço calculado a partir do estudo de dosagem				
Cimento (Kg)	Areia (Kg)	Brita (Kg)	Água (Kg)	Aditivo (Kg)
4,220	<b>9,300</b>	<b>9,000</b>	<b>2,363</b>	<b>0,084</b>

Fonte: Arquivos do Orientador (2024).

A proporção de areia foi determinada utilizando a Tabela 2, que apresenta a quantidade de material necessária para cada teor, sendo dividida em granulometrias diferentes.

Tabela 2 - Distribuição granulométrica da areia para cada teor de substituição

Quantidade de areia calculada a partir do estudo de dosagem						
Substituição	Distribuição Granulométrica					
	<b>2,36</b>	<b>1,18</b>	<b>0,600</b>	<b>0,300</b>	<b>0,150</b>	<b>Total</b>
0%	1,226	1,564	1,970	3,686	0,854	9,300
10%	1,103	1,408	1,773	3,317	0,768	8,370
20%	0,981	1,251	1,576	2,949	0,683	7,440
30%	0,858	1,095	1,379	2,580	0,598	6,510
40%	0,736	0,938	1,182	2,212	0,512	5,580



50%	0,613	0,782	0,985	1,843	0,427	4,650
60%	0,490	0,626	0,788	1,474	0,342	3,720
70%	0,368	0,469	0,591	1,106	0,256	2,790
80%	0,245	0,313	0,394	0,737	0,171	1,860
90%	0,123	0,156	0,197	0,369	0,085	0,930
100%	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Total =</b>	<b>6,743</b>	<b>8,602</b>	<b>10,835</b>	<b>20,272</b>	<b>4,696</b>	<b>-</b>

Fonte: Arquivos do Orientador (2024).

Para fazer a composição granulométrica dos resíduos de substituição seguiu-se o que se apresenta na Tabela 3.

Tabela 3 - Distribuição granulométrica do resíduo para cada teor de substituição

Quantidade de resíduo calculado a partir do estudo de dosagem						
Substituição	Distribuição Granulométrica					
	<b>2,36</b>	<b>1,18</b>	<b>0,600</b>	<b>0,300</b>	<b>0,150</b>	<b>Total</b>
0%	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10%	0,123	0,156	0,197	0,369	0,085	0,930
20%	0,245	0,313	0,394	0,737	0,171	1,860
30%	0,368	0,469	0,591	1,106	0,256	2,790
40%	0,490	0,626	0,788	1,474	0,342	3,720
50%	0,613	0,782	0,985	1,843	0,427	4,650
60%	0,490	0,626	0,788	1,474	0,342	3,720
70%	0,368	0,469	0,591	1,106	0,256	2,790



80%	0,245	0,313	0,394	0,737	0,171	1,860
90%	0,123	0,156	0,197	0,369	0,085	0,930
100%	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Total =	<b>6,743</b>	<b>8,602</b>	<b>10,835</b>	<b>20,272</b>	<b>4,696</b>	-

Fonte: Arquivo do Orientador (2024).

## Ensaio de abatimento do concreto

A amostra do concreto que foi ensaiada por meio do slump test em laboratório, e teve como base a ABNT NBR 16889:2020 - Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. A Figura 5 mostra o ensaio feito com o intuito de determinar o abatimento do concreto produzido.



Figura 5 - Slump test com 10% de substituição.



Fonte: Autor (2024).

## **Produção e moldagem dos corpos de prova**

Após feito o ensaio de determinação de consistência seguiu-se a ABNT NBR 5738:2015 - Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Os moldes do corpo de prova cilíndrico foram confeccionados com dimensões de 9,4 cm de altura e 5 cm de diâmetro,



sendo utilizada barra de cano PVC e caps, para a montagem do molde. O corpo de prova após as 24 horas foi desmoldado e submetido a submersão em água por 28 dias. A Figura 6, mostra os moldes de corpos de prova já preenchidos com o concreto de estudo.

Figura 6 - Corpo de prova preenchido de concreto



Fonte: Autor (2024).



## **Ensaio de resistência característica à compressão simples**

O teste de resistência à compressão simples foi feito no Laboratório de Materiais, na Universidade Estadual do Estado de Mato Grosso, campus Nova Xavantina, com base na ABNT NBR 5739:2018 - Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. O equipamento utilizado no teste foi a prensa hidráulica, que propiciou o rompimento de 10 dos 25 corpos de prova confeccionados. A Figura 7 apresenta a realização do ensaio de rompimento de corpos de prova confeccionados com o concreto de estudo.



Figura 7 - Ensaio de rompimento de corpos de prova.



Fonte: Autor (2024).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Método de substituição**

O intuito deste trabalho é substituir o agregado miúdo natural (areia) pelo agregado reciclado (resíduo), em porcentagens de 10 em 10, até substituir por completa a presença de areia no concreto. Como a substituição inicial é de zero por cento, não haverá a substituição de areia pelos



resíduos, visto que se deseja avaliar o comportamento do concreto com e sem a substituição, sendo necessária a produção desse traço.

Nos seguintes traços foi incrementado a substituição de resíduos provenientes de blocos de concreto estrutural em conjunto com a adição de aditivo plastificante redutor de água, visando a troca de 10 a 100% de areia pelo resíduo.

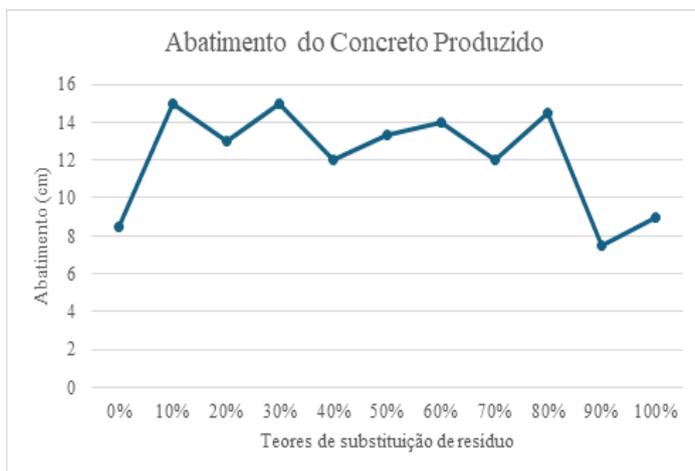
## **Ensaio de abatimento**

Fora descrito nos tópicos anteriores como foi determinado o traço desenvolvido neste trabalho, dessa maneira o ensaio de abatimento foi induzido para verificar a procedência e a qualidade do concreto, evitando riscos do material ser uma mistura ineficiente e que futuramente pode acarretar a diversos problemas.

A cada produção de corpos de prova foram registrados os valores de abatimento de cada teor, os respectivos dados encontram-se no Gráfico 1.



Gráfico 1 - Abatimento do concreto de estudo



Fonte: Autor (2024).

### **Análise de resultados de abatimento**

Avaliando o abatimento realizado é perceptível, que o concreto sem substituição e sem aditivos possui o valor de 85 milímetros de slump, comparando esse valor com 10% de incremento na substituição de resíduo de blocos estruturais, juntamente com aditivo em sua composição, tem seu slump aumentado para 150 milímetros, sendo esse

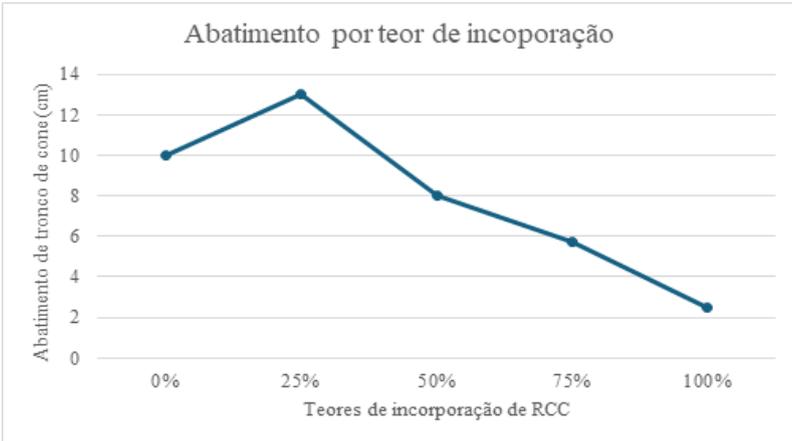


valor considerado o pico. A diminuição de abatimento volta a decair após os 90% com 75 milímetros, tal fato se justifica devido ao aumento de resíduo incorporado a massa, visto que o resíduo por ser mais poroso, diminui a trabalhabilidade e consistência do concreto.

Pavezi (2018), em sua pesquisa buscou aprimorar o estudo da influência da substituição do agregado miúdo natural por resíduos da construção civil, em seu trabalho apresentou o abatimento do concreto de estudo de acordo com os teores de substituição intitulados por ele. O Gráfico 2 demonstra os resultados obtidos pelo autor.



Gráfico 2 – Resultados de abatimento apresentados por Bruno Pavezi (2018)



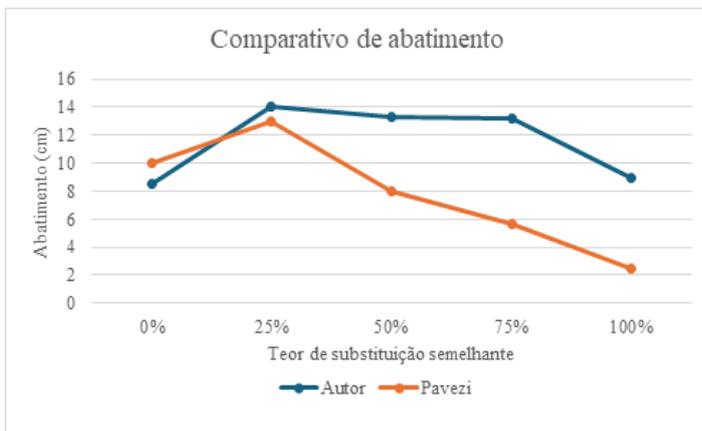
Fonte: Pavezi (2018).

É notório que os dados mostrados no Gráfico 2, apresentam uma decadência no valor de abatimento ao aumentar o teor de substituição do agregado natural pelo reciclado. Pavezi justifica que tal fato se dá, por meio da alta porosidade do resíduo, que diminui sua capacidade de trabalhabilidade. Comparando as mesmas porcentagens obtidas neste trabalho com a curva de abatimento atingida por Pavezi, admite-se que o abatimento irá decair



independente de incorporações de aditivos, entretanto a junção de aditivo na massa proporciona um concreto mais trabalhável e moldável, o Gráfico 3 demonstra a aproximação de resultados apanhados entre as duas pesquisas.

Gráfico 3 - Comparativo de resultados de abatimento



Fonte: Autor (2024).

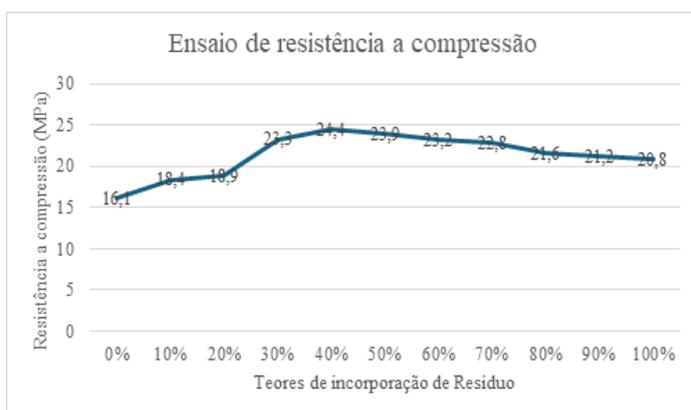
## Ensaio de resistência a compressão simples

Para determinar a resistência característica do concreto após 28 dias utilizou-se o ensaio de resistência



a compressão. Os corpos de prova foram submetidos ao rompimento em prensa hidráulica para saber se o concreto produzido atingirá ao Fck estimado. O Gráfico 4, mostra os valores obtidos no ensaio.

Gráfico 4 - Resultados de resistência a compressão simples



Fonte: Autor (2024).

## Análise de resultados de resistência a compressão

Avaliando a resistência a compressão simples do concreto produzido é perceptível, que o concreto sem substituição e sem aditivos possui resistência de 16,1 MPa,



com o aumento da incorporação do resíduo, o concreto de estudo passa a adquirir resistência se tornando estrutural a partir do teor de 30%, dado que valor característico mínimo da resistência do concreto admissível é  $F_{ck} = 20 \text{ MPa}$ .

Rodrigues e Facule (2014), em sua pesquisa encontram resultados semelhantes em relação a resistência do concreto. Abaixo a Tabela 1, apresenta os valores de resistência apresentados pelos autores.

Tabela 4 - Resultados de resistência à compressão apresentados por Rodrigues e Facule (2014)

Idade (dias)	Teor de substituição	Resistencia à compressão $F_{ck}$ (Mpa)		
		1:3,5	1:5,0	1:6,5
3	CRE	22,2	12,7	8,3
	C50AMR	18,9	13,2	7,4
	C100AMR	18,0	10,3	6,6
7	CRE	24,9	17,9	10,6
	C50AMR	22,2	16,5	9,9
	C100AMR	20,1	14,4	9,5
28	CRE	31,9	21,9	10,7
	C50AMR	31,0	22,7	14,3
	C100AMR	27,9	20,9	12,8



91	CRE	40,0	27,7	19,7
	C50AMR	40,0	29,7	18,4
	C100AMR	35,75	26,2	18,0

Fonte: Rodrigues e Facule (2014).

Os resultados demonstram que o concreto fabricado com agregados reciclados apresentam valores de resistência similar ao concreto de referência. Rodrigues e Facule (2014) afirmam, “[...] O concreto com 50% de substituição não sofreu grande influência, já os concretos com teores de 100% de AMR apresentaram pequenas quedas nos valores de resistência à compressão, contudo não chegaram a ultrapassar 2% de redução.”

Analisando os resultados apanhados por Rodrigues e Facule, é perceptível que a resistência a compressão simples obtida aos 28 dias utilizando o traço 1:6,5, demonstram que o concreto de referência é ultrapassado pelos valores dos concretos confeccionados com a substituição de agregado natural pelos resíduos. Da mesma forma, o concreto produzido nesta pesquisa apresenta concretos mais



resistentes utilizando a substituição por resíduos de blocos estruturais. Quando adotado porcentagens acima de 30%, o concreto pode ser utilizado para fins estruturais devendo-se admitir maior controle tecnológico na produção deles.

## CONCLUSÃO

O método utilizado na pesquisa apesar de ser um conteúdo relevante dentro da construção civil, no canteiro de obras possui entraves, uma vez que os dispositivos empregados tais como, peneiras para fracionamento de partículas e triturador, são componentes de difícil acesso devido ao alto valor de aquisição, além de ser dificultoso o seu manuseio. A dificuldade se dá ao trabalho exaustivo de agitação das peneiras, dado que é um serviço braçal e que demanda tempo. Acredita-se que se o método de obtenção de granulometria do resíduo for mais simples, adotando-se apenas os mesmos mecanismos que o técnico de edificações usa no canteiro de obras, o uso da substituição de areia pelo resíduo pode ser viável, uma alternativa seria obter



esse material direto de empresas que vendem o RCC em granulometrias adequadas para o serviço, a segunda opção pode ser viável quando essas empresas estejam próximas geograficamente daqueles que desejam usufruir da técnica.

Apesar da aplicação desse método ser trabalhosa se for adotado conforme esta pesquisa, as vantagens do uso de substituição ainda sim são existentes. O emprego da substituição de areia pelos resíduos de blocos de concreto estrutural, proporcionou benefícios sustentáveis, visto que a sustentabilidade foi atingida por meio de reduções do consumo de material natural, onde a extração desses agregados naturais foi reduzida, diminuindo consequentemente os danos causados ao meio ambiente. O que também acarretou a sustentabilidade com o uso de resíduo, foi a diminuição de RCC que seriam encaminhados aos aterros ou locais inapropriados para o descarte desses materiais. No panorama econômico, a obtenção de resíduos saiu mais em conta em relação a compra de areia, isso se deve a desvalorização do RCC, onde o resíduo por ser um material que seria descartado perde seu valor, sendo um



elemento mais acessível ao público.

Tendo em vista o que foi mencionado, os resultados desta pesquisa pontam que os valores de abatimento são considerados satisfatórios, já que proporcionou ao concreto maior trabalhabilidade, tal fato, foi justificado pelo uso de aditivo plastificante que aumenta a fluidez do concreto e dá acabamento ao material. A resistência a compressão por sua vez, também apresenta resultados aceitáveis, visto que ao substituir o agregado miúdo natural pelo agregado miúdo provindos de resíduos, proporcionou ganho na resistência no concreto.

## **RECOMENDAÇÕES**

Como proposta para pesquisas futuras, com o intuito de obter um concreto que possa ser produzido no canteiro de obras, é interessante que novas análises sejam feitas para viabilizar o processo de obtenção do resíduo e areia, visto que ao utilizar a separação granulométrica das partículas por meio de peneiramento pode ocasionar atrasos



na produção.

Sugere-se também que sejam feitas novas linhas de pesquisa que avaliem as características do agregado e do concreto reciclado com diferentes tipos de agregados naturais, como por exemplo, seixo rolado e granito.

## REFERÊNCIAS

ALVES M. W. DA S.; LINS P. DE A. Reutilização do RCC: Avaliação da Sustentabilidade e Impacto Ambiental na Construção Civil. 2022.

ALMEIDA, S. M. de. Análise do módulo de elasticidade estático e dinâmico do concreto de cimento Portland através de ensaios de compressão simples e de frequência ressonante. 2012. 213 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia da UFMG. Belo Horizonte. 2012.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM C-494: Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete, USA, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO



PORTLAND. Guia básico de utilização do cimento Portland. 7.ed. São Paulo, 2002. 28p. (BT-106).

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7211: Agregados para concreto – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 9779: Argamassa e concreto endurecido – Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 11768: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro:



ABNT, 2019.

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

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

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

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

ÂNGULO, S. C.; ZORDAN, S. E.; JOHN, V. M.  
Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil. In: COMITÊ TÉCNICO 206 MEIO AMBIENTE, 2001, São Paulo. Anais... São Paulo: Materiais reciclados e suas aplicações, 2001. p. 1-3.



BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. 2015.

CASTRO, V. G. Cimento Portland. In: Compósitos madeira-cimento: um produto sustentável para o Futuro [online]. Mossoró: EdUFERSA, 2021, pp. 13-21. ISBN: 978-65-87108-26-1. Disponível em: <https://doi.org/10.7476/9786587108612.0002>. Acesso em: 10 jan. 2024.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução n ° 307, de 05 de julho de 2002: Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 17 jul. 2002.

COUTO, J. A. S.; CARMINATTI, R. L.; NUNES R. R. A.; MOURA R. C. A. O concreto como material de construção. Cadernos de graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas, Sergipe, v. 1, n.17, p. 49-58, 2013.

CARNEIRO, A. P.; QUADROS, B. E.; OLIVEIRA, A. M.; BRUM, I. A.; SAMPAIO, T. S.; ALBERTE, E. P.; COSTA, D. B. Reciclagem de entulho para a produção de materiais de construção. (Ed. CEF). Salvador, Caixa Econômica Federal, 2001. 312p.



DEGANI, C. M. Sistemas de gestão ambiental em empresas construtoras de edifícios. 2003. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo. 2003.

GIMENES A. V. DO N.; JUNIOR C. R. M.; FREITAS G. H. M. DE; SILVA P. J. DA; RIBEIRO T. F.; SILVA J. R. R. DA; Avaliação da resistência do concreto em relação à variação na dosagem de água. Maringá, CESUMAR. 2013.

GIL, A. C. Métodos e técnicas de pesquisa social. 5.ed. São Paulo: Atlas, 1999.

GONÇALVES. R. D. C. Agregados recicláveis de resíduos de concreto – um novo material para dosagens estruturais. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2001.

IBRACON. Concreto: material construtivo mais consumido no mundo. Entrevistado: José Zamarion Ferreira Diniz. Entrevistadores: Inbracon.: Revista, São Paulo, ano 37, n. 53, p. 11, Disponível em: [https://ibracon.org.br/publicacoes/revistas\\_ibracon/rev\\_construcao/pdf/revista\\_concreto\\_53.pdf](https://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/revista_concreto_53.pdf). Acesso em: 10 jan. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO. PIB varia -0,2% no quarto



trimestre e fecha 2022 em 2,9%: Estatísticas econômicas. IBGE – INSTITUTO BRAILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/36372-pib-varia-0-2-no-quarto-trimestre-e-fecha-2022-em-2-9>. Acesso em: 1 abril. 2023.

NETO, L. A. C. V.; SALES A. T. C.; SALES L. C. Efeitos da variabilidade de agregados de RCD sobre o desempenho mecânico do concreto de cimento Portland. 2018. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PROEC/ POSGRAP/UFS. São Cristóvão. 2018.

NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. 5 ed. São Paulo: Bookman Editora LTDA, 2016.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (Suíça). Areia e Sustentabilidade: 10 recomendações estratégicas para evitar uma crise. Genebra, 2022. Disponível em: <https://unepgrid.ch/en/resource/2022SAND>. Acesso em: 23 maio 2024.

PAVEZI, B. Estudo da influência da substituição do agregado miúdo natural por resíduos da construção civil sobre as propriedades do concreto. 2018. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá. Maringá. 2018.



PAZ, D. LAFAYETTE. K; SOBRAL. M DO C; HOLANDA. M. J; XIMENES. T. Riscos de impactos ambientais proveniente da deposição irregular de Resíduos da Construção Civil em bacias hidrográficas da Região Metropolitana do Recife. Águas Subterrâneas, Recife, v. 32, n.3, p. 325-336, 2018.

RODRIGUES, C. R. de Sá. Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregado miúdo reciclado de resíduo da construção civil. 2011. Dissertação (Mestrado) - Universidade De Pernambuco, Escola Politécnica De Pernambuco. Recife. 2011.

RODRIGUES, C. R. de Sá; 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, jan./mar. 2014.

RODRIGUES, P. P. F. Parâmetros de dosagem do concreto. 3.ed. São Paulo, ABCP, 1998. 32p.

SOBRAL, H. S. Propriedades do concreto fresco. 5.ed. São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland, 2000. 7p. (ET-15).

V.W.Y. TAM; SOOMRO M.; EVANGELISTA A. C. J.



A review of recycled aggregate in concrete applications (2000–2017). Elsevier, Australia, 2018.

TORRES, L. Brasileiro produz por ano meia tonelada de resíduo de construção civil. ABRECON – Associação Brasileira para reciclagens de resíduos da construção civil e demolição, São Paulo, 2011. Disponível em: <https://abrecon.org.br/artigos/brasileiro-produz-por-ano-meia-tonelada-de-residuos-de-construcao-civil>. Acesso em: 1 abril. 2023.



# Política e Escopo da Coleção de livros Humanas em Perspectiva



A Humanas em Perspectiva (HP) é uma coleção de livros publicados anualmente destinado a pesquisadores das áreas das ciências humanas. Nosso objetivo é servir de espaço para divulgação de produção acadêmica temática sobre essas áreas, permitindo o livre acesso e divulgação dos escritos dos autores. O nosso público-alvo para receber as produções são pós-doutores, doutores, mestres e estudantes de pós-graduação. Dessa maneira, os autores devem possuir alguma titulação citada ou cursar algum curso de pós-graduação. Além disso, a Coleção aceitará a participação em coautoria.

A nossa política de submissão receberá artigos científicos com no mínimo de 5.000 e máximo de 8.000 palavras e resenhas críticas com no mínimo de 5 e máximo de 8 páginas. A HP irá receber também resumos expandidos entre 2.500 a 3.000 caracteres, acompanhado de título em



inglês, abstract e keywords.

O recebimento dos trabalhos se dará pelo fluxo contínuo, sendo publicado por ano 10 volumes dessa coleção. Os trabalhos podem ser escritos em português, inglês ou espanhol.

A nossa política de avaliação destina-se a seguir os critérios da novidade, discussão fundamentada e revestida de relevante valor teórico-prático, sempre dando preferência ao recebimento de artigos com pesquisas empíricas, não rejeitando as outras abordagens metodológicas.

Dessa forma, os artigos serão analisados através do mérito (em que se discutirá se o trabalho se adequa as propostas da coleção) e da formatação (que corresponde a uma avaliação do português e da língua estrangeira utilizada).

O tempo de análise de cada trabalho será em torno de dois meses após o depósito em nosso site. O processo de avaliação do artigo se dá inicialmente na submissão de artigos sem a menção do(s) autor(es) e/ou coautor(es) em nenhum momento durante a fase de submissão eletrônica.



A menção dos dados é feita apenas ao sistema que deixa em oculto o (s) nome(s) do(s) autor(es) ou coautor(es) aos avaliadores, visando viabilizar a imparcialidade da avaliação. A escolha do avaliador(a) é feita pelo editor de acordo com a área de formação na graduação e pós-graduação do(a) professor(a) avaliador(a) com a temática a ser abordada pelo(s) autor(es) e/ou coautor(es) do artigo avaliado. Terminada a avaliação sem menção do(s) nome(s) do(s) autor(es) e/ou coautor(es) é enviado pelo(a) avaliador(a) uma carta de aceite, aceite com alteração ou rejeição do artigo enviado a depender do parecer do(a) avaliador(a). A etapa posterior é a elaboração da carta pelo editor com o respectivo parecer do(a) avaliador(a) para o(s) autor(es) e/ou coautor(es). Por fim, se o trabalho for aceito ou aceito com sugestões de modificações, o(s) autor(es) e/ou coautor(es) são comunicados dos respectivos prazos e acréscimo de seu(s) dados(s) bem como qualificação acadêmica.

A nossa coleção de livros também se dedica a publicação de uma obra completa referente a monografias, dissertações ou teses de doutorado.



O público terá acesso livre imediato ao conteúdo das obras, seguindo o princípio de que disponibilizar gratuitamente o conhecimento científico ao público proporciona maior democratização mundial do conhecimento.



# Dos autores



**Cayttano Saul de Sá Zarpellon**

Professor de Engenharia

Mestre em Ciência de Materiais - UFMT

Engenheiro Civil - UFMT

**Pedro Henrique Ribeiro Bailão de Moraes**

Acadêmico de Engenharia Civil - UFMT

**Larissa Paes Sobrinho Souza**

Engenheira Civil - UNEMAT

**Luana Vieira Ramalho**

Mestrado em educação matemática, UFMS

**Martha Tussolini**

Doutorado em química

Universidade Estadual do Centro Oeste



**Gabrielle Darc Banczek Fonseca**

Graduação em Letras/Literatura

Universidade Federal do Mato Grosso

**Arnaldo Taveira Chioveto**

Mestre em Desenvolvimento Regional

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE

**Maycon Douglas Ferreira**

Mestre em Educação Matemática

Universidade do Estado de Mato Grosso

**Karina Luzia Andrade**

Doutorado em Engenharia Química

Universidade Federal de Santa Catarina

**Rogério Alves de Oliveira**

Mestre em Geotecnia

Universidade Federal de Goiás



# Índice Remissivo



## C

### Concreto

*página 89*

*página 102*

*página 104*

*página 130*

## M

### Materiais

*página 28*

*página 79*

*página 89*

*página 134*

*página 156*



## **R**

### Resíduos

*página 23*

*página 30*

*página 99*

*página 104*

## **T**

### Tecnologia

*página 46*

*página 57*

*página 131*

*página 178*





Esse novo ebook busca discutir como estratégias de gestão de resíduos decorrentes de matrizes cimentícias, pode proporcionar uma melhora no processo produtivo e laboral.

