

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DO SERTÃO
CURSO ENGENHARIA CIVIL

JOSÉ SALANIEL ZACARIAS DA SILVA

**ANÁLISE DO REAPROVEITAMENTO DO PÓ PROVENIENTE DA RETIFICAÇÃO
DE CORPOS DE PROVA DE CONCRETO COMO FINO EM NOVOS CONCRETOS**

Delmiro Gouveia - Alagoas
2025

JOSÉ SALANIEL ZACARIAS DA SILVA

**ANÁLISE DO REAPROVEITAMENTO DO PÓ PROVENIENTE DA RETIFICAÇÃO
DE CORPOS DE PROVA DE CONCRETO COMO FINO EM NOVOS CONCRETOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil da Universidade
Federal de Alagoas, como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharelado em
Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Msc. Alexandre Lima
Nascimento.

Delmiro Gouveia - Alagoas

2025

**Catalogação na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico**

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

S586a Silva, José Salaniel Zacarias da.

Análise do reaproveitamento do pó proveniente da retificação de corpos de prova de concreto como fino em novos concretos / José Salaniel Zacarias da Silva. - 2025.

50 f. : il.

Orientador: Alexandre Lima Nascimento.

Monografia (Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas. Campus Sertão. Delmiro Gouveia, 2025.

Bibliografia: f. f. 46-50.

1. Concreto reciclado. 2. Resíduos de construção. 3. Sustentabilidade. I. Título.

CDU: 693.54/.56:504

Folha de Aprovação

JOSÉ SALANIEL ZACARIAS DA SILVA

ANÁLISE DO REAPROVEITAMENTO DO PÓ PROVENIENTE DA RETIFICAÇÃO DE CORPOS DE PROVA DE CONCRETO COMO FINO EM NOVOS CONCRETOS

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
banca examinadora do curso de Engenharia
Civil da Universidade Federal de Alagoas e
aprovada em 10 de fevereiro de 2025.

Documento assinado digitalmente
 ALEXANDRE NASCIMENTO DE LIMA
Data: 13/02/2025 18:37:18-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Orientador – Professor Msc, Alexandre Nascimento de Lima, UFAL

Banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 MICAEL ALVES MENDES
Data: 11/02/2025 13:23:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

(Examinador Externo – Engenheiro Civil, Micael Alves Mendes Ethica Engenharia)

Documento assinado digitalmente
 KARLISSON ANDRE NUNES DA SILVA
Data: 13/02/2025 13:48:29-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

(Examinador Interno – Msc, Karlisson Andre Nunes da Silva, UFAL)

Dedico este trabalho a Deus, que me deu forças para não desistir, e a todos os meus amigos e familiares.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer de forma especial a minha família, que sempre estiveram comigo, nunca me abandonaram e sempre acreditaram, seu apoio foi fundamental ao longo dessa jornada.

Agradeço também, de maneira especial, a todos os meus amigos, que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho, seja por meio de ideias ou críticas a pesquisa. A participação dessas pessoas foi essencial na construção desta pesquisa.

Por fim, manifesto meu sincero reconhecimento ao meu orientador, que jamais mediou esforços para garantir o progresso deste TCC. Sua disposição em esclarecer minhas dúvidas e sugerir ideias valiosas foi crucial para o desenvolvimento deste projeto.

RESUMO

O presente trabalho trata da utilização de resíduos de concreto na produção de concreto reciclado. Estima-se que a indústria da construção civil produza uma quantidade média de 500kg/hab.ano resíduos no Brasil, o que gera um considerável impacto ambiental negativo, em paralelo a isso, a construção civil consome aproximadamente 40% de recursos naturais não renováveis, sendo o concreto, o material mais utilizado nesse setor. Assim, na direção de amenizar as questões supracitadas e contribuir para que no futuro, a construção civil seja mais sustentável, este trabalho analisou a adição de finos provenientes de corpos de prova de concreto como matéria-prima na produção de concreto, nas proporções de 5%, 10% e 15% em relação à quantidade de cimento do concreto de referência (sem adição de finos). No que diz respeito à abordagem e aos procedimentos desta pesquisa, ela é caracterizada como quantitativa, qualitativa e experimental, uma vez que determinou as propriedades do concreto em seus estados fresco e endurecido por meio da coleta e análise de dados obtidos nos ensaios laboratoriais e realizou a análise comparativa dos concretos estudados. Os resultados mostraram que o concreto com adição de finos nas proporções estudadas, apresentou vantagens e desvantagens em relação ao concreto de referência, as principais vantagens foram o menor índice de vazios, absorção de água e massa específica real, já as desvantagens foram ter apresentado menor resistência à tração e compressão, se comparado ao concreto de referência. Ademais, o trabalho constatou que todas as adições testadas atendem ao requisito de um concreto estrutural, com resistência acima de 20 Mpa, porém, são necessárias pesquisas adicionais para avaliar outras propriedades e aspectos importantes para o futuro uso deste material em obras.

Palavras-chave: Concreto reciclado; Resíduos de construção civil; Sustentabilidade.

ABSTRACT

This paper deals with the use of concrete waste in the production of recycled concrete. It is estimated that the construction industry produces an average amount of 500 kg/inhab.year of waste in Brazil, which generates a considerable negative environmental impact. In parallel, the construction industry consumes approximately 40% of non-renewable natural resources, with concrete being the most used material in this sector. Thus, in order to alleviate the aforementioned issues and contribute to a more sustainable construction industry in the future, this paper analyzed the addition of fines from concrete specimens as raw material in the production of concrete, in proportions of 5%, 10% and 15% in relation to the amount of cement in the reference concrete (without addition of fines). Regarding the approach and procedures of this research, it is characterized as quantitative, qualitative and experimental, since it determined the properties of concrete in its fresh and hardened states through the collection and analysis of data obtained in laboratory tests and performed the comparative analysis of the concretes studied. The results showed that concrete with the addition of fines in the proportions studied presented advantages and disadvantages in relation to the reference concrete. The main advantages were the lower void index, water absorption and real specific mass, while the disadvantages were having presented lower tensile and compressive strength, when compared to the reference concrete. Furthermore, the work found that all the tested additions meet the requirement of a structural concrete, with strength above 20 MPa. However, additional research is necessary to evaluate other properties and important aspects for the future use of this material in construction.

Keywords: Recycled concrete; Construction waste; Sustainability.

LISTA DE IMAGENS

Imagen 1	– Extração do resíduo de corpo de prova na retífica	30
Imagen 2	– Resíduo gerado na retífica, utilizado no concreto, após secagem em estufa.	30
Imagen 3	3a) Inserção de agregado graúdo na betoreira para o traço do Concreto de Referência; 3b) Inserção de cimento na mistura; 3c) Inserção de areia na mistura da betoneira.	31
Imagen 4	– Ensaio do abatimento do tronco de cone (<i>Slump test</i>)	32
Imagen 5	– Moldagem dos corpos de prova	33
Imagen 6	– Cura dos corpos de prova	33
Imagen 7	– 7a) Ruptura do corpo de prova no ensaio de compressão e 7b) resultado do ensaio em Newtons	34
Imagen 8	– 8a) Ensaio de tração por compressão diametral e 8b) Resultado em Newtons	35
Imagen 9	– 9a) Ensaio de absorção, corpos de prova na água em ebulição por 5 horas e 9b) Pesagem do corpo de prova seco.....	36
Imagen 10	– Ensaio de abatimento do concreto sem resíduo	37
Imagen 11	– Ensaio de abatimento do concreto com 5% de finos	38
Imagen 12	– Ensaio de abatimento do concreto com 15% de finos	38

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	– Resultados do Ensaio de Resistência à Compressão	39
Gráfico 2	– Resultados do Ensaio de Resistência à Tração	40
Gráfico 3	– Resultados do Ensaio de Absorção	40
Gráfico 4	– Resultados do Índice de Vazios dos Copos de Prova	41
Gráfico 5	– Resultados da Massa Específica Real dos Copos de Prova	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABRECON	Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição
ACR	Agregado de Concreto Reciclado
BDTD	Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CP V-ARI	Cimento Portland de Alta Resistência Inicial
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
RCP	Resíduo de Corpo de Prova
UFAL	Universidade Federal de Alagoas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Justificativa	13
1.2	Objetivo geral	14
1.3	Objetivos específicos	14
1.4	Estrutura do trabalho	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1	Concreto	16
2.1.1	Resumo Histórico do Concreto	18
2.1.3	Componentes do Concreto	19
2.1.4	Cimento	19
2.1.5	Agregados	20
2.1.6	Água	21
2.1.7	Massa Específica do Concreto	22
2.1.8	Aditivos e Adições	23
2.1.9	Resistência do Concreto à Compressão	23
2.1.10	Resistência do Concreto à Tração	24
2.2	Concreto com agregado reciclado	25
3	METODOLOGIA.....	28
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

1 INTRODUÇÃO

A construção civil consome aproximadamente 40% dos recursos naturais não renováveis, sendo o concreto um dos materiais mais utilizados nesse setor (Santos e Cabral, 2020). A produção de concreto envolve a mistura de cimento, agregados (graúdos e miúdos), água e aditivos. Ainda de acordo com Santos e Cabral (2020), devido à sua ampla utilização e à exploração intensa de recursos naturais, é essencial buscar métodos mais sustentáveis para reduzir o custo ambiental e os resíduos sólidos gerados pelas construções.

Diante da crescente busca por uma sociedade mais sustentável e da crise ambiental, é de extrema importância que o mercado da construção civil incorpore práticas sustentáveis em seus projetos, visando beneficiar tanto a sociedade atual quanto as gerações futuras (Barbosa *et al.*, 2018). Nesse contexto, uma abordagem cada vez mais promissora para reduzir os impactos ambientais e a economia no setor é a utilização do concreto reciclado nas construções (Ângulo *et al.*, 2001). A reciclagem dos resíduos do concreto não apenas reduz o consumo de recursos naturais, mas também contribui para a diminuição da poluição ambiental. Esse processo, de acordo com Verian *et al.* (2018) envolve a coleta do concreto utilizado e a segregação da argamassa da rocha, resultando no agregado de concreto reciclado (ACR) e no agregado graúdo proveniente dessa segregação.

É necessária a adoção de soluções que busquem mitigar os efeitos nocivos ao meio ambiente, provocados pela construção civil. De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (2024), é estimado que mais de 50% dos resíduos sólidos gerados pelo ser humano provém na construção civil, além disso, o uso em escala cada vez maior dos recursos não renováveis, a exemplo da areia na produção do concreto, geram impacto na alteração da água subterrânea e superficial, altera a permeabilidade do solo e desencadeia processos erosivos, de acordo com Souza (2022).

Independente da perspectiva adotada, as questões levantadas anteriormente ganham ainda mais relevância e magnitude quando ilustradas por dados concretos, como os fornecidos por Ângulo, Oliveira e Machado (2020), relacionado a produção elevada dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD), afirmando que a média da geração per capita de resíduos das cidades brasileiras é de 500 kg/hab.ano e está mais concentrada em grandes aglomerados urbanos.

De acordo com Ângulo, Oliveira e Machado (2020), o avanço da reciclagem de RCD tem como consequência a redução do consumo de materiais extraídos da natureza, como os agregados minerais, e pode diminuir os pontos irregulares de descarte de resíduos.

De acordo com os dados da Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (ABRECON, 2021), estima-se que o Brasil gere aproximadamente 84 milhões de metros cúbicos de resíduos da construção civil anualmente, sendo que apenas 20% desse total é reciclado. Pela predominância do padrão construtivo no Brasil, o maior percentual de material encontrado nos RCD é de argamassa (63%), em especial argamassa de concreto utilizada na composição de estruturas.

O trabalho de pesquisa pretende analisar a viabilidade da reutilização e reciclagem do pó proveniente da retificação de corpos de prova no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas, localizado no Campus Sertão, para a produção de concreto. Foram realizados ensaios para avaliar a qualidade física e mecânica dos novos produtos, abrindo caminho para a utilização futura de materiais reciclados na construção civil. Este estudo pode servir como base para pesquisas futuras em contextos mais amplos, como em empresas de concreto ou laboratórios que realizam ensaios de resistência à compressão para construtoras, que frequentemente produzem este material.

Dessa forma, no presente trabalho foram realizados experimentos a fim de que se pudesse obter base científica para a adequada utilização de resíduos reciclados na fabricação de concreto e assim, seja subsídio para estudos futuros sobre esta aplicação.

1.1. Justificativa

O controle tecnológico do concreto, utilizado nas obras com uso de concreto, segue a NBR 12655 (ABNT, 2022) e exige uma série de testes para que se assegure a resistência indicada em projeto dos concretos aplicados na obra. Para estes testes, são confeccionadas diversas amostras, chamadas de corpos de prova, para serem testados e assim, aferir a resistência do concreto utilizado, porém, após esses testes, os corpos de prova são descartados em áreas de aterro de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura, auxiliando no acúmulo de resíduos no meio ambiente de acordo com a Resolução N° 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) de 2002.

Este trabalho, por buscar resolver o problema específico da reciclagem de resíduos de concreto na fabricação de novos concretos, tem uma relevância significativa, pois estimula o desenvolvimento de novas pesquisas no campo do reaproveitamento de resíduos como matéria-prima de um componente importante da construção civil, o concreto, contribuindo para a evolução sustentável do setor.

Diversas pesquisas têm se dedicado a abordar esse tema, buscando trazer à tona

informações relacionadas a diferentes aspectos do comportamento de concretos que utilizam agregados reciclados.

O trabalho realizado possui grande relevância, pois pode servir como subsídio para futuras pesquisas em âmbitos mais abrangentes, como em empresas concreteiras ou laboratórios que realizam ensaios de compressão para construtoras, as quais produzem muitos corpos de prova para controle tecnológico. Dessa forma, este estudo buscou resolver um problema pontual, ao mesmo tempo que possibilita o desenvolvimento de novas pesquisas na área de reaproveitamento de resíduos como matéria-prima para um componente crucial da construção civil, o concreto. Esse avanço pode ter um impacto significativo na evolução sustentável da indústria da construção civil.

1.2. Objetivo geral

O objetivo geral deste estudo foi promover uma ampla discussão sobre novos materiais que surgem como alternativas para os profissionais envolvidos na indústria da construção, por meio da adição, em relação ao agregado miúdo, nas proporções de 0%, 5%, 10% e 15%, de finos provenientes de resíduos de concreto (retificação de corpos de prova de concreto). Com isso, buscou-se fornecer informações que auxiliem na compreensão e adoção adequada desses materiais na prática profissional ligada à construção civil. Neste sentido, almejou-se, neste trabalho, avaliar as propriedades mecânicas de concretos produzidos a partir da inserção dos resíduos supracitados provenientes do próprio concreto. Essa abordagem visou minimizar os impactos ambientais causados pela deposição inadequada desses resíduos, bem como os impactos decorrentes da crescente produção de concreto, além disso, garantir a fabricação de um produto de qualidade e durabilidade.

1.3. Objetivos específicos

Assim, os objetivos específicos desse trabalho de pesquisa são:

- Reciclar o material gerado da retificação do corpo de prova de concreto;
- Caracterizar propriedades físicas e mecânicas de corpos de prova de concreto com 5%, 10% e 15% de adição em relação ao cimento, do resíduo fino proveniente da retificação de corpos de prova de concreto;
- Comparar as misturas utilizando finos de concreto reciclado e a mistura de referência, que utiliza a mistura convencional de água, cimento e agregados.

1.4.Estrutura do trabalho

O presente trabalho está dividido em 5 capítulos. No primeiro capítulo apresenta-se o projeto, expondo uma breve contextualização e apresentando os objetivos gerais e específicos.

No segundo capítulo é realizada uma revisão bibliográfica sobre o conceito do concreto, a importância da reciclagem do concreto e seus impactos ambientais.

O terceiro capítulo, encontra-se descritos os materiais, equipamentos e métodos experimentais adotados para execução da parte experimental do trabalho.

O quarto capítulo apresenta os resultados e discussões por tópicos abordados. No quinto capítulo, é apresentada a conclusão do trabalho.

O quinto capítulo trata das considerações finais alcançadas neste trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção, foi apresentada uma análise da literatura relacionada à reciclagem de concreto na indústria da construção, oferecendo aos leitores uma perspectiva abrangente sobre a utilização do concreto na construção e os impactos ambientais associados a ele. Além disso, abordou-se o processo de reciclagem ou reutilização de concreto quebrado ou descartado, conhecido como agregado reciclado, como parte da mistura de concreto.

Por fim, evidenciou-se a viabilidade da reciclagem de concreto como um meio para mitigar os impactos ambientais e promover o desenvolvimento sustentável. Além disso, a utilização de novas tecnologias e métodos de produção de concreto sustentável pode reduzir a dependência de matérias-primas naturais e diminuir o impacto ambiental da produção de concreto.

2.1 Concreto

O concreto é, indiscutivelmente, uma das maiores inovações na construção civil, oferecendo resistência, versatilidade e custo relativamente baixo, o que permitiu a realização de grandes obras na história da arquitetura e engenharia. Atualmente, a utilização desse material está em toda parte em nosso ambiente construído (Tagliani, 2016).

Sua composição envolve a combinação adequada de três componentes principais: aglomerante, agregados e água. O aglomerante desempenha o papel de unir os fragmentos dos demais materiais, sendo o cimento Portland o aglomerante típico utilizado no concreto. Quanto aos agregados, eles são essenciais para aumentar o volume do produto, contribuindo para a redução de custos. Os agregados podem ser classificados em agregados graúdos e miúdos. Na execução do concreto, é comum utilizar brita com granulometria de $\phi > 4,8\text{mm}$ como agregado graúdo e areia lavada com $0,075\text{ mm} < \phi < 4,8\text{ mm}$ como agregado miúdo (Alencar; Silva, 2019).

Conforme estabelecido na norma NBR 12655 (ABNT, 2015), o concreto de cimento Portland é definido como um material resultante da mistura homogênea de cimento, agregados miúdos e graúdos, juntamente com água, podendo ou não incluir componentes minoritários, como aditivos químicos, pigmentos, metacaulim, sílica ativa e outros materiais pozolânicos. O desenvolvimento das propriedades do concreto ocorre através do processo de endurecimento da pasta de cimento.

Este conceito está relacionado ao concreto simples, que serve como base para a produção de concreto estrutural, frequentemente utilizado na forma de concreto armado, onde

se faz uso de armaduras de aço. No estudo do concreto simples, diversas características são avaliadas tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. Para esclarecer o foco deste trabalho, definem-se aqui algumas propriedades essenciais a serem avaliadas quando há variações na composição do concreto, seja devido à adição de componentes, seja pela utilização de agregados não convencionais.

a) Massa Específica: Qualquer medição dessa propriedade envolve a relação entre a massa do material e o volume ocupado por ele. A NBR 9778 (ABNT, 2009) considera três métodos de determinação:

1) Massa específica da amostra seca: massa do material quando seco dividida pelo volume total.

2) Massa específica da amostra saturada: massa do material saturado em relação ao volume total.

3) Massa específica real: massa do material seco em relação ao seu volume, excluindo os poros.

b) Índice de Vazios: A norma NBR 9778 (ABNT, 2009) define essa propriedade como a relação entre o volume de poros permeáveis e o volume total da amostra.

c) Absorção de Água: Essa propriedade está relacionada à capacidade do concreto de permitir a passagem da água através de seus poros permeáveis. A norma NBR 9778 (ABNT, 2009) estabelece que a absorção no concreto é o aumento de massa causado pela penetração de água em seus poros, em comparação com a massa seca.

d) Consistência: A consistência é a capacidade do concreto de se deformar no seu estado fresco e é diretamente afetada pela relação entre a quantidade de água e os materiais secos na mistura. A norma que classifica a consistência do concreto fresco é a NBR 8953 (ABNT, 2015).

e) Resistência Mecânica: Essa propriedade abrange a capacidade do concreto de resistir aos esforços a que é submetido, incluindo compressão, tração, flexão, torção e cisalhamento. A resistência é medida pela força necessária para romper o corpo de concreto quando uma carga é aplicada em uma área específica (NBR 5739, ABNT 2018). Para determinar a resistência à compressão, por exemplo, é comum submeter um corpo de prova cilíndrico a uma força axial, enquanto a resistência à tração é medida aplicando uma força de compressão diametral em um corpo de prova cilíndrico (NBR 7222, ABNT 2011).

2.1.1 Resumo Histórico do Concreto

A história do concreto está intrinsecamente ligada à evolução do cimento, seu componente principal, responsável por desencadear a reação química que resulta na formação da pasta aderente, fundamental para conferir ao concreto sua notável eficiência estrutural. O cimento possui uma rica trajetória histórica que remonta a épocas antigas, incluindo notáveis passagens pelas civilizações do Egito, Roma e Grécia (Kaefer, 1998).

Na verdade, vestígios de conhecimento sobre materiais aglutinantes podem ser traçados até a pré-história. Neste período, já se possuía familiaridade com substâncias que apresentavam propriedades aglutinantes. Evidências sugerem que eles observaram que pedras colocadas próximas ao fogo liberavam um pó que, ao endurecer com a umidade noturna, transformava-se em uma substância coesa. Esse fenômeno foi registrado em relatos históricos, como mencionado por Panzera *et al.* (2010).

De acordo com Kaefer (1998), os romanos se destacaram pelo uso extensivo de concreto em suas construções, empregando matérias-primas como cascalho, areia grossa, cal quente e água. Em algumas misturas, até sangue de animais era utilizado, demonstrando a inventividade da época para garantir durabilidade e resistência.

Portanto, percebe-se que a história do concreto se entrelaça com a evolução do cimento ao longo do tempo, passando por civilizações antigas e culturas que, de maneira engenhosa, desenvolveram técnicas e conhecimentos que pavimentaram o caminho para a composição do material que moldou muitas das estruturas que existem atualmente.

Na linha do tempo e da evolução da tecnologia, o concreto moderno teve seu início por volta de 1756, quando John Smeaton realizou uma pequena mistura entre o cimento e o agregado graúdo. Em 1791, James Parker descobriu o cimento produzido com sedimentos de rochas, que deu o nome de Cimento Romano (Casagrande, 2019).

Somente em 1824, o súdito britânico Joseph Aspdin apresentou o cimento Portland. Aspdin, com experiência na calcinação e Trituração de pó de pedra e argila, desenvolveu um processo que produzia um pó capaz de formar uma espécie de argamassa ao ser misturado com água. A notável descoberta veio à luz quando ele observou que, após o período de secagem, essa mistura se metamorfoseava em algo com resistência equiparada às pedras convencionais usadas na construção. A denominação "cimento Portland" foi escolhida por conta da notável semelhança com as rochas encontradas na ilha de Portland, situada no condado de Dorset (Toraya, 1999).

Com o passar do tempo, o concreto passou por diversas modificações e ajustes em

sua composição, aprimorando suas características. No entanto, um marco significativo na história do concreto ocorreu em 1981, quando George Bartholomew construiu a primeira rua de concreto em Ohio (EUA), demonstrando a resistência e versatilidade do material (Quiza, 2017; Casagrande, 2019).

2.1.3 Componentes do Concreto

O concreto é uma composição complexa, constituída por cimento, água, agregado miúdo (como areia) e agregado graúdo (como brita ou pedra), além disso, podem ser incluídas adições e aditivos químicos com o intuito de aprimorar ou modificar suas características fundamentais (Lara, 2013). Alguns exemplos de adições incluem cinza volante, pozolana natural, sílica ativa, metacaulim, entre outras. Adicionalmente, o concreto pode incorporar outros materiais, como pigmentos coloridos, fibras, agregados especiais, entre outros. Quando se trata de aditivos, plastificantes e superplastificantes são amplamente utilizados para reduzir a quantidade de água no concreto, tornando-o mais maleável e adequado para o processo de construção (Hartmann *et al.*, 2011).

A tecnologia do concreto visa encontrar a proporção ideal entre os diversos componentes, de modo a atender simultaneamente aos requisitos mecânicos, físicos e de durabilidade, ao mesmo tempo em que oferece a trabalhabilidade necessária para facilitar o transporte, despejo e compactação do concreto em diferentes aplicações (Helene e Andrade, 2007).

2.1.4 Cimento

O cimento Portland teve sua origem na Inglaterra em 1824 e começou a ser produzido em escala industrial a partir de 1850 (Kaefer, 1998). Este material é constituído por um pó fino que possui propriedades aglomerantes, aglutinantes e ligantes, endurecendo quando em contato com a água. Uma característica fundamental do cimento Portland é que, uma vez endurecido, ele não se decompõe mesmo que seja novamente exposto à ação da água (ABCP, 2002). Seu principal componente é o clínquer, que é obtido pela combinação de rocha calcária triturada e moída com argila, e sujeito a altas temperaturas de até 1.450 °C, seguido pelo resfriamento, resultando em pequenas pelotas, o próprio clínquer. A moagem do clínquer, com a adição de aproximadamente 3% a 5% de sulfato de cálcio para regular o tempo de pega é o que origina o cimento Portland convencional (Battagin, 2011).

Quando outras matérias-primas, conhecidas como adições, são incorporadas ao clínquer durante o processo de moagem, as propriedades são modificadas, resultando em diferentes tipos de cimento, denominados cimentos Portland compostos. Dentre as principais adições, incluem-se o gesso, o filer de calcário, a escória de alto-forno, bem como materiais pozolânicos e carbonáticos (Battagin, 2011; Cincotto, 2011).

2.1.5 Agregados

A NBR 7211 (ABNT, 2022) estipula que os agregados devem ser constituídos por grãos de minerais resistentes, compactos, estáveis, duradouros e limpos. Eles não devem conter substâncias que possam prejudicar a hidratação e o endurecimento do cimento, afetar a proteção da armadura contra corrosão, comprometer a durabilidade ou, quando necessário, influenciar a aparência visual externa do concreto.

Os agregados são definidos como materiais granulares e inertes que constituem parte essencial das argamassas e concretos (Bauer, 2000). Eles desempenham um papel crucial no concreto, compreendendo, aproximadamente, 70% a 80% de sua composição e influenciam diversas de suas características.

Ao longo do tempo, tem havido uma evolução na direção de aumentar a proporção de argamassa no concreto, o que implica na redução da quantidade de agregado graúdo. Isso é feito para produzir misturas mais maleáveis e adequadas para bombeamento. A crescente utilização de concreto autoadensável tem enfatizado a importância dos agregados, especialmente os miúdos (Sbrighi Neto, 2011).

De acordo com Bastos (2023) os agregados podem ser classificados de acordo com sua origem em naturais, britados, artificiais e reciclados:

- Naturais: aqueles encontrados na natureza, como pedregulho (também chamado cascalho ou seixo rolado), areia de rio, areia de cava, entre outros.
- Britados: aqueles que passaram pelo processo de britagem, como pedra britada, pedrisco, pedregulho britado, areia britada, etc.
- Artificiais: aqueles resultantes de processos industriais, como argila expandida, vermiculita, etc.

Quanto ao tamanho dos grãos, os agregados são classificados como miúdos ou graúdos da seguinte forma:

- Agregado miúdo: os grãos passam por uma peneira com abertura de malha

de 4,75 mm e ficam retidos em uma peneira com abertura de malha de 0,075 mm.

- Agregado graúdo: os grãos passam por uma peneira com abertura de malha de 152 mm e ficam retidos em uma peneira com abertura de malha de 4,75 mm.

No comércio, é comum encontrar as britas numeradas e classificadas com base em suas dimensões máximas seguintes: brita 0 – 9,5 mm (pedrisco); brita 1 – 19 mm; brita 2 – 38 mm.

A densidade dos agregados naturais normalmente varia de 1.500 kg/m³ a 1.800 kg/m³, resultando em concretos convencionais que têm uma massa específica de cerca de 2.400 kg/m³. Agregados alternativos, conhecidos como agregados leves e pesados, podem ser empregados na produção de concretos especiais (Rossignolo e Agnesini, 2011; Repette, 2011).

É crucial considerar a questão da reação álcali-agregado ao escolher os agregados, pois essa reação pode afetar o desempenho e a durabilidade do concreto. Análises preventivas devem ser realizadas para evitar esse problema, que, se ocorrer, pode acarretar consequências significativas para a durabilidade da estrutura (Sbrighi Neto, 2011).

2.1.6 Água

Pode-se argumentar que a importância da água no processo de criação do concreto é comparável, ou até mesmo superior, à do próprio cimento. A água também desempenha, entre outras funções, um papel crucial na determinação das quantidades adequadas de aditivos químicos plastificantes a serem adicionados ao concreto, o que influencia significativamente suas propriedades finais (Cintra *et al.*, 2013).

A NBR 15900-1 (ABNT, 2009) estabelece requisitos específicos para a água utilizada na mistura do concreto, a fim de garantir a qualidade e a integridade do material resultante. Um exemplo desses requisitos é a cor da água, que deve se assemelhar à água potável. Além disso, a presença de materiais sólidos na água é limitada a um máximo de 50.000 mg/L. Além dos requisitos físicos, as propriedades químicas da água também são cruciais, pois podem influenciar a resistência e o tempo de pega do concreto. É importante ressaltar que a água mais adequada para a mistura com o cimento é a água potável (ABNT, 2009).

A presença de água é essencial no concreto, pois desencadeia as reações químicas de hidratação do cimento, que garantem as propriedades de resistência e durabilidade do material. A água desempenha um papel vital no concreto, juntamente com o cimento, ao formar

a matriz resistente que liga os agregados, conferindo ao concreto a durabilidade e a vida útil projetadas para as estruturas. Além disso, a água reduz o atrito, criando uma película que envolve os grãos, promovendo a adesão dos agregados à pasta de cimento e fornecendo a coesão e a consistência necessárias para que o concreto, em seu estado plástico, possa ser produzido, transportado e colocado nas formas sem perder sua homogeneidade (Isaia, 2011).

A água fornecida pela rede de abastecimento público é considerada adequada para uso em concreto. No entanto, água salobra só pode ser usada em concreto não armado após ensaios específicos, mas não é adequada para concreto armado ou protendido. Outros tipos de água, como água subterrânea, água superficial natural, água pluvial, água residual industrial, água de esgoto, água de esgoto tratado, água de reuso de estação de tratamento de esgoto, entre outros, devem ser avaliados de acordo com a NBR 15900 - 1 (ABNT, 2009).

Quanto à cura do concreto, a quantidade de água, o tempo de cura e a qualidade da água desempenham papéis cruciais. Algumas características de água devem ser evitadas, como água pura, mole e destilada (Isaia, 2011). A cura do concreto com água é o método mais eficaz para prevenir o surgimento de fissuras durante o período inicial de endurecimento do concreto e para permitir o desenvolvimento adequado das reações químicas de hidratação do cimento. Manter a superfície do concreto saturada de água evita a evaporação da água contida no concreto para o ambiente, o que, por sua vez, impede ou reduz o aparecimento de fissuras causadas pela retração plástica e atrasa a retração hidráulica, proporcionando à microestrutura da pasta de cimento o tempo necessário para resistir às tensões de tração resultantes da retração hidráulica.

2.1.7 Massa Específica do Concreto

A massa específica dos concretos convencionais gira em torno de 2.400 kg/m³. Portanto, de acordo com o item 8.2.2 da NBR 6118 (ABNT, 2023), caso a densidade real do concreto não seja conhecida, para fins de cálculo, pode-se adotar este valor para o concreto simples e 2.500 kg/m³ para o concreto armado.

Se a massa real do concreto simples for conhecida, é possível acrescentar 100 kg/m³ a 150 kg/m³ para determinar a densidade do concreto armado. É fundamental observar que a NBR 6118 (ABNT, 2023) é aplicável a concretos com densidade (ρ_c) variando de 2.000 kg/m³ a 2.800 kg/m³, com base em materiais secos em estufa.

2.1.8 Aditivos e Adições

Segundo Silva (2016), de forma sucinta, os aditivos podem enfraquecer ou reforçar propriedades específicas já presentes no concreto. Por outro lado, as adições conferem ao concreto características que originalmente não possuía.

A NBR 11768-1 (ABNT, 2019) define aditivos como "produtos que, em pequenas quantidades, adicionados a concretos de cimento Portland, podem modificar algumas de suas propriedades, a fim de adequá-las a condições específicas".

Os finos utilizados neste trabalho são considerados aditivos, as modificações que o uso deste material provocou no concreto foi retratada no resultado e conclusão, após análise dos testes feitos com o concreto nos estados fresco e endurecido.

2.1.9 Resistência do Concreto à Compressão

No projeto de estruturas de concreto, o engenheiro estrutural especifica a resistência característica do concreto à compressão aos 28 dias, chamada de f_{ck} , e a utiliza como um parâmetro fundamental nos cálculos dos componentes estruturais como vigas, lajes, pilares, entre outros. Para garantir que a estrutura atenda aos requisitos de segurança e durabilidade, a resistência do concreto (f_{ck}) deve ser especificada de acordo com as diretrizes do engenheiro projetista (Helene e Andrade, 2007).

No Brasil, a resistência à compressão do concreto é avaliada por meio de corpos de prova cilíndricos com dimensões que podem variar entre as dimensões de 15 cm ou 10 cm de diâmetro por 30 cm ou 20 cm de altura, que são moldados de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2015). Já países europeus adotam corpos de prova cúbicos com arestas de 15 cm ou 20 cm.

O ensaio para determinar a resistência característica à compressão é realizado em uma prensa hidráulica quando os corpos de prova têm 28 dias de idade a partir da moldagem, seguindo os procedimentos estabelecidos na NBR 5739 (ABNT, 2018). É importante notar que a resistência em idades diferentes de 28 dias pode ser exigida, e a estimativa da resistência média à compressão (f_{cmj}) correspondente a uma resistência f_{ckj} especificada deve ser realizada de acordo com as orientações da NBR 6118 (ABNT, 2023) item 8.2.4.

A evolução da resistência à compressão com o tempo deve ser determinada por meio de ensaios específicos. Na ausência desses dados experimentais, valores orientativos podem ser adotados, conforme indicado na NBR 6118 (ABNT, 2023) item 8.2.4.

Com base na resistência característica do concreto à compressão (f_{ck}), a NBR 8953

(ABNT, 2015) classifica os concretos em grupos I e II. Os concretos normais são identificados pela letra C, seguida do valor da resistência característica, expresso em MPa, como segue:

Grupo I: C20, C25, C30, C35, C40, C45, C50;

Grupo II: C55, C60, C70, C80, C90, C100.

A NBR 8953 (ABNT, 2015) também faz menção aos concretos C10 e C15, mas é importante notar que esses não são adequados para aplicações estruturais. A versão mais recente, a partir de 2023, da NBR 6118, é aplicável aos concretos de ambos os grupos de resistência, exceto o C100.

Durante décadas do século passado, era comum utilizar concretos com resistências à compressão (f_{ck}) de 13,5 MPa, 15 MPa e 18 MPa. A partir dos anos 90, concretos com resistências de 20 MPa e 25 MPa se tornaram mais comuns. Com a versão de 2003 da NBR 6118 (ABNT, 2015), passou a ser exigido que as estruturas de concreto armado fossem construídas com concretos de resistência igual ou superior a 20 MPa, restringindo o uso do concreto C15 apenas a estruturas de fundações e construções temporárias. A elevação da resistência para um valor mínimo de 20 MPa teve como objetivo principal aumentar a durabilidade das estruturas. Dependendo do ambiente em que a estrutura está inserida, pode ser necessário o uso de concretos com resistências superiores ao C20.

Com relação ao ensaio de resistência à compressão, pela NBR 5739 (ABNT 2018), os corpos de prova são submetidos a uma força de compressão axial contínua e, durante o ensaio, devem estar com as bases superior e inferior regularizadas, chamado popularmente de retificação, um dos métodos de regularização destas superfícies, por meio de abrasão.

Nesta abrasão dos corpos de prova para o preparo para o ensaio de compressão são gerados resíduos que são descartados em áreas de aterro de resíduos da construção civil. Porém, esse material tem o potencial de ser reutilizado, o que geraria redução de resíduos e economia de matérias-primas convencionais.

2.1.10 Resistência do Concreto à Tração

De acordo com Farias *et al.* (2004), se a resistência à compressão do concreto aumenta é esperado que a resistência à tração também aumente, porém, dentro de uma relação decrescente. A resistência à tração é uma característica de grande importância desse material, especialmente no que se refere à avaliação de fissuração (como o momento de surgimento da

primeira fissura e a medição da abertura da fissura), no projeto de vigas para resistência à força cortante e na análise da aderência entre o concreto e a barra de aço (Mehta e Monteiro, 2014).

Existem três tipos de ensaios frequentemente realizados para a determinação da resistência do concreto à tração: ensaio de tração direta, ensaio de tração indireta e ensaio de tração na flexão. O ensaio de tração direta é mais complexo de ser conduzido, requerendo dispositivos especiais, como garras metálicas e uma prensa universal com capacidade para aplicar forças de tração significativas. Os ensaios de tração indireta e tração na flexão foram desenvolvidos para contornar essas complexidades, e os resultados obtidos servem como referência para a estimativa da resistência à tração direta, como permitido pela NBR 6118 (ABNT, 2023).

O ensaio de tração é regido pela NBR 7222 (ABNT, 2011). O procedimento do ensaio consiste em traçar uma linha para garantir que a carga seja aplicada exatamente no meio do corpo de prova, registrar as dimensões do corpo de prova, colocar uma tira compensada na placa inferior da prensa e colocar o corpo de prova, depois alinhar o corpo de prova de modo que a linha traçada fique na vertical e centralizada sobre a placa inferior, colocar uma segunda tira compensada sobre a amostra, posicionar a placa superior até que o corpo de prova fique firme e centralizado e aplicar uma carga contínua de crescimento constante da tensão de compressão a uma velocidade de $(0,5 \pm 0,02)$ MPa/s até a ruptura do corpo de prova.

2.2 Concreto com agregado reciclado

Os agregados desempenham um papel crucial no concreto, com a areia e a brita sendo os agregados convencionais mais comuns. Eles compõem cerca de 75% do volume do concreto (Neville, 2015 *apud* Costa *et al.*, 2018). Os efeitos de sua presença são observados em todas as fases da mistura. No estado fresco, podem influenciar a trabalhabilidade e a proporção de argamassa no concreto, enquanto no estado endurecido, afetam a estabilidade dimensional, a durabilidade e o módulo de elasticidade (Costa *et al.*, 2018).

Dada a significativa participação dos agregados na estrutura do concreto e a grande quantidade de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) gerados nas obras, a reciclagem desses resíduos emerge como uma solução para reduzir tanto a exploração de recursos naturais na obtenção de agregados quanto o descarte inadequado, uma vez que seu uso é permitido pela Resolução N° 307 do Conama (2002).

Mesquita *et al.* (2015) observam que a forma mais comum de tratar o RCD envolve a segregação da fração mineral, que é então triturada até atingir a granulometria desejada. Isso

permite o uso desses agregados reciclados como substitutos parciais ou totais dos agregados convencionais na produção de concretos e argamassas especiais. Concretos especiais, conforme definido por Figueiredo *et al.* (2004) *apud* Nascimento (2015), são materiais com propriedades específicas aprimoradas pela tecnologia, superando as limitações do concreto tradicional ou incorporando propriedades não inerentes a esse material.

Araújo *et al.* (2016) concluíram em seu estudo que é possível substituir os agregados naturais por agregados reciclados, até 100%, no concreto, sem perda de resistência à compressão e tração. Em relação ao módulo de elasticidade, houve apenas uma redução de 12%, o que sugere a possibilidade de uso em aplicações estruturais. No entanto, as normas brasileiras ainda não permitem esse uso. Segundo Martins *et al.* (2021), adições minerais como sílica ativa e metacaulim pode alterar o comportamento do concreto com agregado graúdo reciclado, tornando-o, em algumas situações, semelhante a um concreto com agregado natural.

De acordo com Borba, Cassol e Bueno (2016), o concreto com 100% de agregado graúdo reciclado apresentou maior resistência à compressão do que o concreto convencional com 100% de agregado graúdo natural. Esse resultado também foi confirmado por Jacques (2013), que atribuiu esse fenômeno ao efeito da hidratação avançada dos compostos cimentícios presentes no agregado graúdo reciclado de concreto.

Já Domenico *et al.* (2018) realizaram um estudo em que substituíram parcialmente até 25% dos agregados naturais pelos reciclados na fabricação de novos concretos e obtiveram resultados satisfatórios em termos de resistência. A absorção de água foi maior para todos os corpos de prova que continham agregados reciclados, mas os autores concluíram que o uso era viável, inclusive para fins estruturais, desde que a granulometria e a porcentagem na mistura fossem padronizadas, como afirmaram autores anteriores.

A utilização de agregados reciclados não se limita apenas ao concreto moldado *in loco*, mas também se estende à produção de blocos pré-moldados, como demonstrado por Mesquita *et al.* (2015). Os blocos fabricados exclusivamente com RCD, sem a adição de areia, apresentaram valores de resistência característica à compressão superiores aos estabelecidos pelas normas, tornando-se uma opção viável para substituir a brita convencional na produção de blocos vazados de vedação.

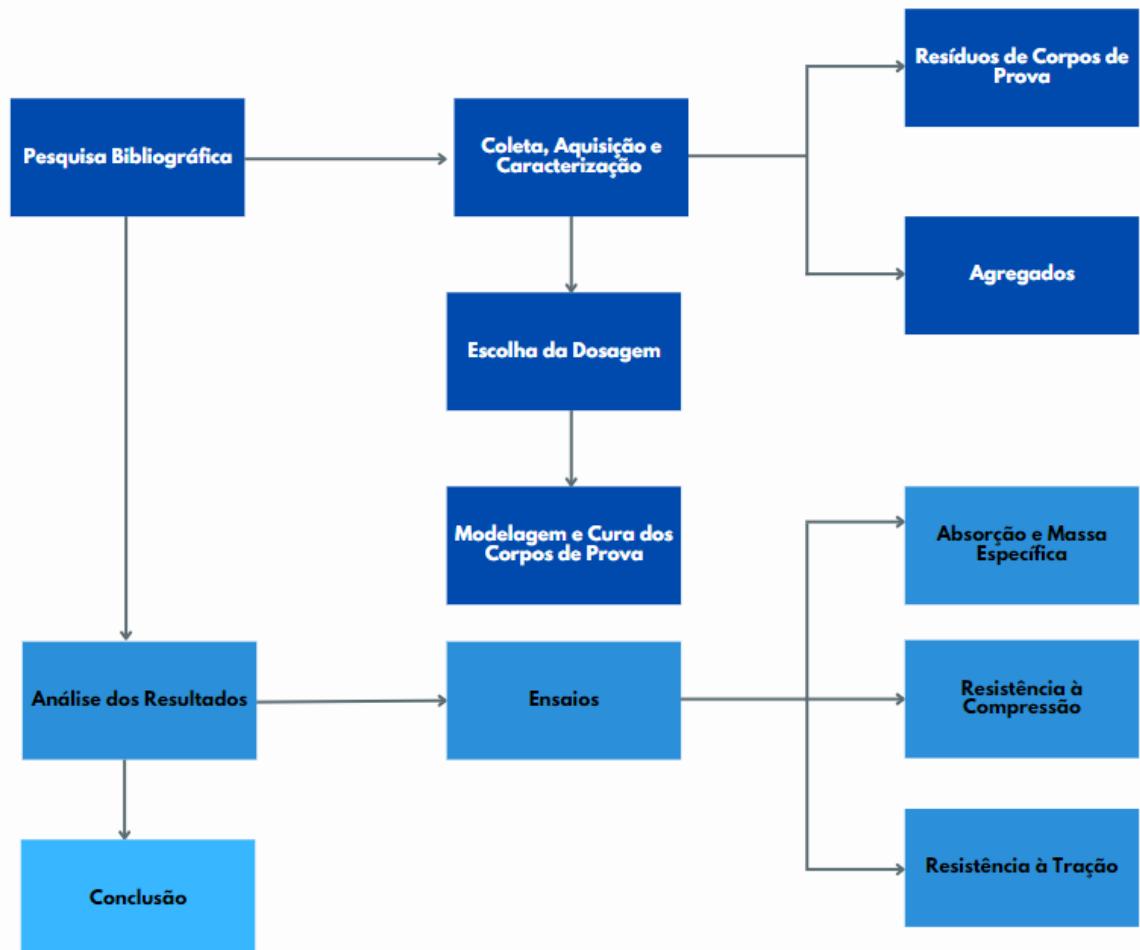
Ramos (2021) utilizou agregados miúdos produzidos com corpos de prova para a produção e análise de concreto em seu estudo, comparando a adição total de agregados miúdos convencionais com o concreto convencional com brita granítica. Foi concluído que o concreto com agregado reciclado teve uma diminuição de 6% na resistência à compressão, se comparado ao concreto de referência (CR), o que se mostra uma boa alternativa para alguns usos.

Sobre o material utilizado neste trabalho, finos provenientes de retificação de corpos de prova de concreto, não foram encontradas referências na literatura da sua utilização na produção de concreto.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo, é apresentado o percurso metodológico empregado para alcançar o objetivo deste estudo, detalhando os materiais e métodos utilizados.

No que diz respeito à abordagem e aos procedimentos desta pesquisa, ela é caracterizada como quantitativa e experimental, uma vez que visa determinar propriedades do concreto em seus estados fresco e endurecido por meio da coleta e análise de dados obtidos por meio de ensaios labororiais. Além disso, é considerada qualitativa, uma vez que inclui uma análise comparativa e levantamento de referências relacionadas ao tema em questão provenientes de pesquisa bibliográfica em livros, teses, dissertações e artigos científicos. O estudo seguiu as etapas delineadas neste capítulo, conforme demonstrado no Fluxograma 1.



Fluxograma 1 – Etapas do Trabalho

Fonte: O autor (2025)

a) Revisão da Literatura

A pesquisa foi conduzida em renomadas bases bibliográficas, incluindo, mas não se limitando a Scielo, Portal Capes, Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) e repositórios de diversas instituições. O objetivo principal era reunir uma coleção de estudos sobre o concreto reciclado. O resultado dessa pesquisa revelou uma série de estudos recentes relevantes. A pesquisa bibliográfica e análise documental forneceram a base necessária para a definição do processo de reciclagem do concreto.

b) Coleta de Resíduos do Concreto

Esta fase envolveu a coleta dos resíduos de concreto com o propósito de preparar o resíduo fino reciclado que seria usado na adição do traço de concreto adotado, a referência desta adição foi com base na quantidade de cimento, nas proporções de 5%, 10% e 15%, em massa.

A coleta dos resíduos do corpo de provas foi realizada no Laboratório da Universidade Federal de Alagoas – Campus Sertão, na cidade de Delmiro Gouveia/AL, garantindo uma amostra com quantidade suficiente para os ensaios subsequentes. A separação e classificação do material seguiram as diretrizes estabelecidas na Resolução Nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002).

Para a geração dos resíduos foram utilizados corpos de prova ensaiados pela empresa I9 Engenharia Jr, da UFAL Campus do Sertão, sem nenhuma caracterização prévia, proveniente de obras da região. O fino utilizado foi proveniente do desgaste em retífica dos corpos de prova. A extração do resíduo na retificação do corpo de prova na retífica, está ilustrada na Imagem 1 e o fino gerado, na Imagem 2. Este fino, quando produzido, tem aspecto de lama em razão da água que é utilizada para resfriar a lâmina da retífica e possibilitar uma maior durabilidade das peças. Além da lama, também tem forma de partículas dispersas ao redor da retífica.

Após a produção e coleta de finos, eles foram armazenados em um recipiente e no dia anterior ao uso, foi seco em estufa a 50 °C, mexido de 8 em 8 horas.



Imagen 1 – Extração do resíduo de corpo de prova na retífica

Fonte: O autor(2025)



Imagen 2 – Resíduo gerado na retífica, utilizado no concreto, após secagem em estufa

Fonte: O autor(2025)

c) Dosagem do Concreto

A etapa seguinte compreendeu a elaboração dos traços de concreto, com o intuito de verificar a consistência de cada um, seguida pela moldagem, desforma e cura dos corpos de prova destinados aos ensaios de resistência à compressão e tração, realizados aos 7 e 28 dias de cura.

O cimento selecionado para este estudo foi o CP V-ARI, 32 MPa, que representa o Cimento Portland de Alta Resistência Inicial, com o propósito de possibilitar comparações com

a literatura pertinente.

O traço utilizado para o concreto de referência (CR) foi 1: 2,074: 3,18: 0,56 (cimento, areia fina, brita 9,5 mm, água), em massa, calculado pelo método ABCP de dosagem de concreto (Cordeiro, 2024), para resistência à compressão requerida aos 28 dias de 27 MPa.

Este traço foi escolhido por ser um traço prático, facilmente aplicável, em conformidade com a ênfase na sustentabilidade, por meio da reutilização de resíduos do corpo de provas. Este foi tratado como traço de referência, para posteriores adições do fino proveniente da reciclagem, nas proporções: 5%, 10% e 15%, em relação ao cimento, em peso.

Determinado o traço, seguiu-se a sequência de mistura da seguinte forma: primeiro o agregado graúdo, depois a água, na sequência, o cimento e a areia, conforme pode ser observado nas Imagens 3 a), b) e c). Nos concretos com o resíduo, a mistura seguiu a mesma sequência mencionada, porém, o resíduo foi colocado logo após o cimento.



Imagens 3 – a) Inserção de agregado graúdo na betoreira para o traço do Concreto de Referência; b) Inserção de cimento na mistura; c) Inserção de areia na mistura da betoneira.

Fonte: O autor(2025)

d) Mistura e determinação da consistência

A elaboração do concreto foi executada por meio de uma mistura mecânica em betoneira, seguida de adensamento mecânico com um vibrador equipado com mangote. Após a formulação das dosagens, ajustadas de acordo com a introdução de diferentes agregados, foi realizado um ensaio de consistência para todas as misturas. Esse ensaio consistiu na avaliação da trabalhabilidade por meio do abatimento de um tronco de cone padronizado, conforme estipulado na norma NBR 16889 (ABNT, 2020), como pode ser visto na Imagem 4.



Imagen 4 – Ensaio do abatimento do tronco de cone (*Slump test*)
Fonte: O autor(2025)

e) Moldagem e Caracterização dos Corpos de Prova

Os corpos de prova foram moldados em conformidade com a norma NBR 5738 (ABNT, 2015) em formas cilíndricas com dimensões de 10 cm x 20 cm (Imagen 5). A quantidade de 12 corpos de prova por tipo de concreto, totalizando 48 corpos de prova, foi estabelecida para permitir a realização dos ensaios: absorção de água, índice de vazios, massa específica real, resistências à compressão e resistência à tração.



Imagen 5 – Moldagem dos corpos de prova

Fonte: O autor(2025)

Após 24 horas, os corpos de prova foram desmoldados e transferidos para um tanque de cura, conforme ilustrado na Imagem 6.



Imagen 6 – Cura dos corpos de prova

Fonte: O autor(2025)

f) Ensaios físico-mecânicos do concreto

O ensaio de resistência à compressão axial do concreto é um procedimento fundamental para determinar a capacidade do material em suportar cargas aplicadas na direção

vertical, ou seja, ao longo do seu eixo. O ensaio foi realizado por meio do rompimento dos corpos de prova após 28 dias de cura, contados a partir da moldagem. O ensaio foi conduzido no laboratório, utilizando uma prensa hidráulica – Imagens 7a) e 7b), que aplica gradualmente uma força de compressão crescente nos corpos de prova até que eles atinjam o ponto de ruptura, foi utilizado como referência para execução do teste as recomendações da NBR 5739 (2018).



Imagens 7a) e 7b) – 7a) Ruptura do corpo de prova no ensaio de compressão e 7b) resultado do ensaio em Newtons

Fonte: O autor(2025)

A resistência à compressão é calculada pela Equação 1:

$$f_c = \frac{4F}{\pi \times D^2} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

f_c é a resistência à compressão, expressa em megapascals (MPa);

F é a força máxima alcançada. Expressa em newtons (N);

D é o diâmetro do corpo de prova, expresso em milímetros (mm)

O teste de tração por compressão diametral também foi realizado para a caracterização do concreto de referência e dos concretos com adição de finos. O ensaio é prescrito pela NBR 7222 (ABNT, 2011) e consiste em posicionar o corpo de prova de forma horizontal, exatamente no centro da prensa e utilizar tiras de chapa dura de fibra de madeira ou aglomerado para auxiliar no correto posicionamento do corpo de prova na máquina de ensaio,

após o posicionamento, é aplicada a carga continuamente e sem choques com crescimento constante da tensão de tração a uma velocidade de $(0,05 \pm 0,02)$ MPa/s até a ruptura do corpo de prova, nas Imagens 8a) e 8b) é mostrada realização deste ensaio que foi feito no laboratório da UFAL.



Imagens 8a) e 8b) – 8a) Ensaio de tração por compressão diametral e 8b) Resultado em Newtons

Fonte: O autor(2025)

A carga de tração é calculada pela Equação 2.

$$f_{ct,sp} = \frac{2F}{\pi dl} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

$f_{ct,sp}$ é a resistência à tração por compressão diametral, expressa por três algarismos significativos, em megapascals (MPa);

F é a força máxima obtida no ensaio, expresso em newtons (N);

D é o diâmetro do corpo de prova, expresso em milímetros (mm);

l é o comprimento do corpo de prova, expresso em milímetros (mm).

O ensaio de absorção, foi realizado de acordo com a NBR 9778 (ABNT, 2005) e utilizado para determinar tanto a massa específica quanto o índice de vazios, o procedimento feito foi o de secagem do corpo de prova na estufa à temperatura de (105 ± 5) °C por 72 h; registrada a massa da amostra e feita a saturação, por meio da imersão da amostra em água à

temperatura de (23 ± 2) °C durante 72h, depois disso a amostra foi colocada imersa e progressivamente levada à ebulação por 5h – Imagem 9a), após a água esfriar foi aferida a massa com uma balança de precisão – Imagem 9b).



Imagens 9a) e 9b) – 9a) Ensaio de absorção, corpos de prova na água em ebulação por 5 horas e 9b) Pesagem do corpo de prova seco

Fonte: O autor(2025)

Subsequentemente, os resultados obtidos foram submetidos a uma análise comparativa, a fim de identificar as variações entre o traço de referência e o concreto com a inclusão do material fino reciclado.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O ensaio de abatimento, também conhecido como *Slump Test*, é um procedimento utilizado para determinar a consistência do concreto no estado fresco. Esse ensaio é fundamental para garantir que o concreto tenha a fluidez e coesão adequada antes de ser aplicado em uma estrutura ou obra. O teste foi realizado imediatamente após a confecção do concreto, seguindo as recomendações da NBR 16889 (ABNT, 2020).

O primeiro concreto produzido foi o CR, com 0% de resíduos de corpo de prova em sua composição e foi utilizado como referência para análise do comportamento dos outros com adição de resíduo. O concreto padrão apresentou um abatimento de 30 mm (Imagen 10), indicando um concreto mais resistente, porém, com trabalhabilidade limitada.



Imagen 10 – Ensaio de abatimento do concreto sem resíduo

Fonte: O autor(2025)

O ensaio de abatimento com o concreto que continha 5% de resíduo de corpo de prova (RCP) registrou um valor de 45 mm. O motivo do resultado ter sido um concreto menos rígido, (mais trabalhável) ocorreu devido ao material fino (resíduo) utilizado na mistura. A Imagem 11 mostra o *Slump Test* com o concreto de 5% de adição de resíduos.



Imagen 11 – Ensaio de abatimento do concreto com 5% de finos
Fonte: O autor(2025)

Os *Slump Test* dos concretos de 10% e de 15% de adição de finos foram, respectivamente, 190 mm e 175 mm, indicando concretos mais fluídos e com alta trabalhabilidade, por conter uma maior concentração de finos. Com esse resultado pode-se presumir que esses concretos facilitariam trabalhos onde se necessita de uma modelagem mais complexa e um melhor adensamento, como pode ser visto na Imagem 12, o teste do concreto com adição de 15%.



Imagen 12 – Ensaio de abatimento do concreto com 15% de finos
Fonte: O autor(2025)

As proporções de adição do fino neste trabalho foram de 5%, 10% e 15% em relação à quantidade de cimento. Dessa forma, foram testadas as doze amostras de cada tipo de concreto, os ensaios realizados foram o de resistência à compressão, resistência à tração, absorção de água, índice de vazios e aferição da massa específica real, a seguir, estão os gráficos relativos às amostras de cada tipo de concreto referentes cada propriedade mencionada. O Gráfico 1 mostra o resultado da resistência à compressão dos concretos.

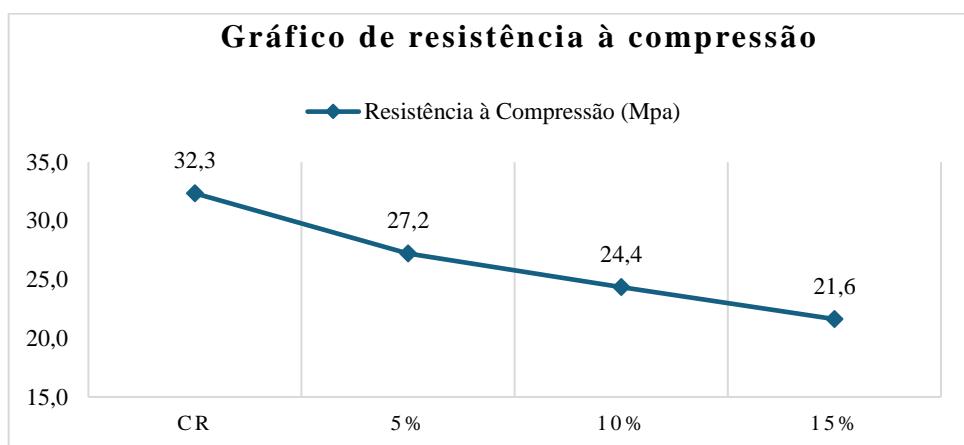


Gráfico 1 – Resultados do Ensaio de Resistência à Compressão

Fonte: O autor(2025)

Os testes de resistência à compressão mostraram que o concreto sem resíduos obteve um desempenho superior em comparação às misturas contendo RCP, com diferença significativa. Com relação à diferença entre o CR e os concretos com adição no resultado de compressão, houve uma queda maior em relação ao CR, que deu 32,3 MPa, no qual a diferença da média entre o CR e a adição de 5% foi de 5,1 MPa, uma diferença percentual de 15%.

Com relação aos resultados de resistência à compressão, entre os concretos com substituição, o que obteve melhor desempenho foi o concreto 5%, que teve em média 27,2 MPa

Entre os concretos com substituições, de 5% para 10% a diferença na média foi de 2,9, a média total da resistência à compressão do concreto com 10% de finos foi de 24,4 MPa, 10,54% a menos que o concreto com 5% de finos e 24,67% menos resistente se comparado ao CR, já a diferença entre o concreto com 10% de finos e o concreto com 15% de finos foi de 2,7 MPa.

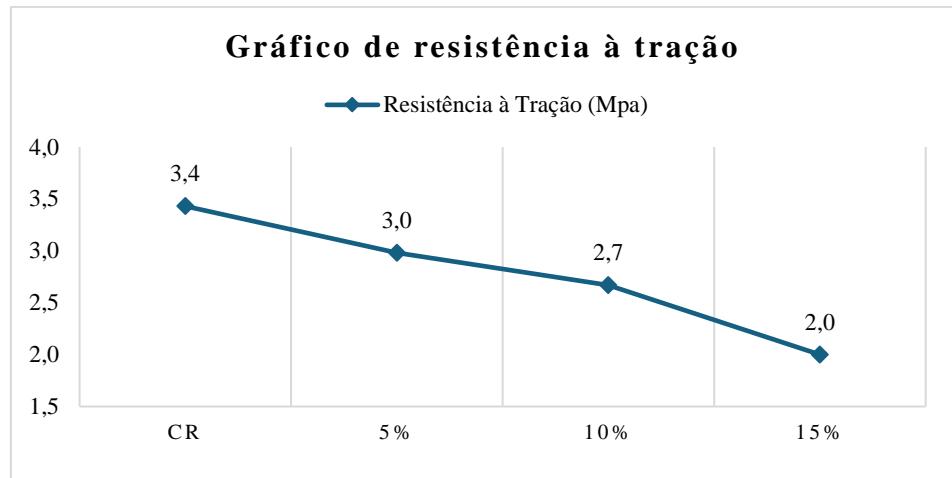


Gráfico 2 – Resultados do Ensaio de Resistência à Tração

Fonte: O autor(2025)

Para os resultados de resistência à tração obtidos (Gráfico 2), tem-se que o CR teve resultados superiores para cinco dos seis rompimentos de corpos de prova. A resistência máxima do CR para o teste de resistência à tração foi de 3,8 MPa, sua média foi de 3,4 MPa, enquanto a média do concreto com adição de 15%, que apresentou menor desempenho, foi de 2,0 MPa.

Destaca-se que não houve uma diferença elevada com relação a resistência à tração, no que diz respeito ao CR e o concreto com adição de 5%, no concreto de 5% para o de 10%, houve uma diferença na média de 0,3 MPa, do concreto com adição de 10% para o de 15%, houve uma queda maior na resistência, diferenciando um do outro 0,7 MPa no resultado da média.

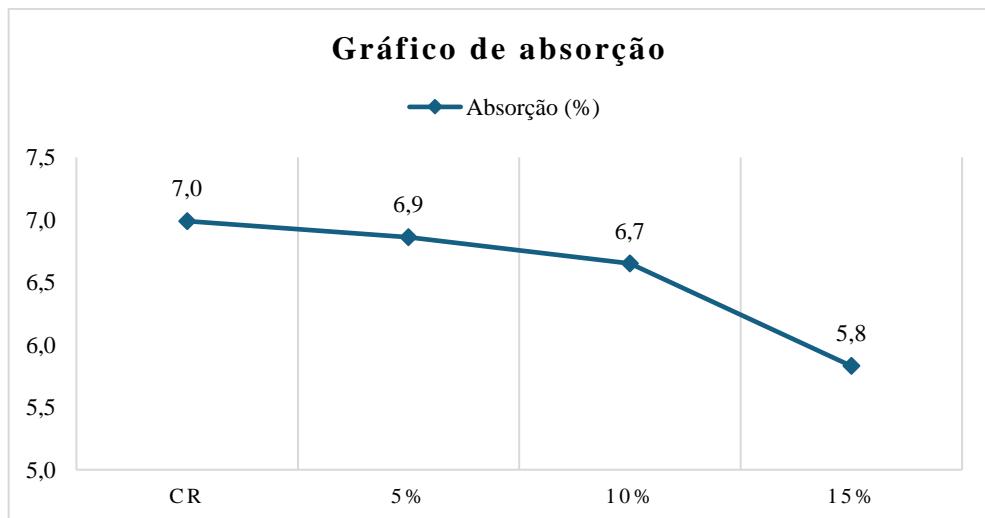


Gráfico 3 – Resultados do Ensaio de Absorção

Fonte: O autor(2025)

Para os resultados de absorção (Gráfico 3), o concreto com adição de 15% chegou ao menor índice, com média de 5,8% entre os corpos de prova testados, uma discrepância de 1,2%, entretanto, para as demais adições e CR, os resultados entre si foram semelhantes. A média do índice de absorção do CR foi de 6,9%, a absorção do concreto de adição de 5% foi de 6,9% e a do concreto com adição de 10% foi de 6,7%.

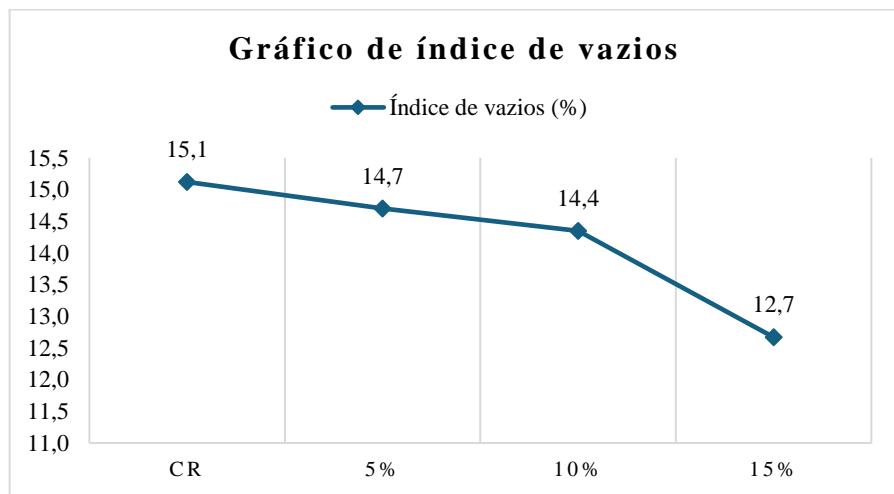


Gráfico 4 – Resultados do Índice de Vazios dos Copos de Prova

Fonte: O autor(2025)

O Gráfico 4 aponta os resultados dos índices de vazios analisado nos concretos, o concreto com adição de 15%, assim como no ensaio de absorção, teve um melhor desempenho em relação aos demais, a média do índice de vazios do concreto supracitado foi de 12,7%, os demais concretos CR, 5% e 10%, tiveram respectivamente 15,1%, 14,7% e 14,4%.

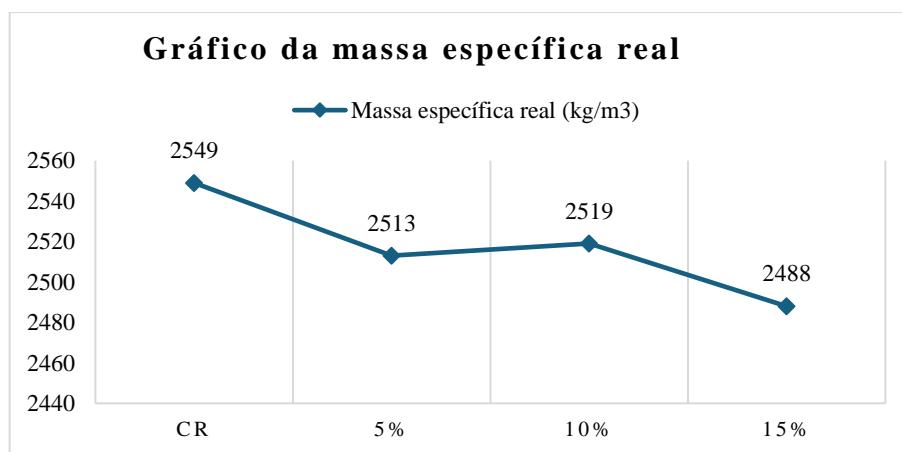


Gráfico 5 – Resultados da Massa Específica Real dos Copos de Prova

Fonte: O autor(2025)

O Gráfico 5 mostra os resultados da Massa Específica Real dos concretos analisados, tem-se que o resultado se deu, de forma geral, inversamente proporcional à quantidade de finos presentes no concreto, ou seja, quanto maior porcentagem de finos, menor foi a massa específica do concreto, para o CR, a média da massa específica foi de 2549 kg/m³, para o concreto com adição de 5% foi de 2513 kg/m³, para a adição de 10% a média foi de 2519 kg/m³ e para a adição de 15% a Massa específica real média foi de 2488 kg/m³.

Desta forma, os resultados do ensaio de absorção do concreto, expostos no Gráfico 4 de índice de vazios e no Gráfico 5 de massa específica real indicaram uma vantagem na adição dos finos aqui estudados, que foi uma tendência à redução do índice de vazios e redução na massa específica real, conforme a proporção adicionada de finos aumenta.

Assim, foram coletados dados relevantes para concluir sobre as características e aplicações de concretos com adição de finos provenientes de resíduos de concreto, que serão mais explanadas na próxima seção.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme foi constatado nos resultados expostos, tem-se que o concreto com adição de finos nas proporções estudadas, apresentou vantagens e desvantagens em relação ao concreto de referência. As principais vantagens foram o menor índice de vazios, absorção de água e massa específica real. Já as desvantagens foram ter apresentado menor resistência à tração e compressão, se comparado ao concreto de referência, que é o convencional.

O ensaio de resistência à compressão indicou que os concretos com adições de até 15% de finos atendem ao requisito de um concreto estrutural, com resistência acima de 20 MPa, como estabelecido na NBR 8953 (ABNT 2015). Desta forma, os resultados mostraram que o uso de concreto com agregado reciclado pode ser uma alternativa viável para aplicações estruturais, pois apresenta níveis consideráveis de resistência. No entanto, são necessárias pesquisas adicionais para avaliar outras propriedades importantes.

É importante considerar que os resultados podem ser afetados por diversas variáveis, como a qualidade dos materiais, incluindo os resíduos utilizados e as variações nas quantidades dos componentes. Para assegurar a segurança e a eficácia do concreto com resíduos, são necessários testes adicionais, especialmente sobre durabilidade e permeabilidade, para garantir a longevidade e a integridade das construções.

A utilização de resíduos reciclados na fabricação de novos concretos se demonstrou uma boa alternativa do ponto de vista das propriedades aqui analisadas, porém, ainda há um amplo espaço de exploração, como sugestão para trabalhos futuros, pode-se mencionar o estudo da viabilidade da produção dos finos em maior escala e a utilização e propriedades deste material como adição na produção de argamassas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, J. F. P; SILVA, J. S. **Análise das Propriedades Mecânicas do Concreto Reforçado com Fibras Polipropileno.** Revista Científica Semana Acadêmica. Fortaleza, 2019, n.182. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/artigo/analise-das-propriedades-mecanicas-doconcreto-reforçado-com-fibras-polipropileno>. Acesso: 01 out. 2023.

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

ÂNGULO, S. C.; ZORDAN, S. E.; e JOHN, V. M. **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil.** Anais. São Paulo: IBRACON, 2001. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/directbitstream/a0bc3dc1-585b-424d-8db3-42cfb1e54b1d/Desenvolvimento%20sustent%C3%A1vel%20e%20a%20reciclagem.pdf>. Acesso em: 11 out. 2024.

ARAÚJO, D. L.; FELIX, L. P.; SILVA, L. C.; SANTOS, T. M. **Influência de agregados reciclados de resíduos de construção nas propriedades mecânicas do concreto.** 2016. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/reec/article/view/35467>. Acesso em: 12 de abr de 2024.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2023.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222: Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2011.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.** Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768-1: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Parte 1: Requisitos.** Rio de Janeiro, 2019.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15900-1: Água para amassamento do concreto – Parte 1: Requisitos.** Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16889: Concreto – Determinação da Consistência pelo batimento de tronco de cone.** Rio de Janeiro, 2020.

BARBOSA, U. D. S.; SALOMÃO, P. E. A.; LAUAR, G. T.; RIBEIRO, P. T. **Reutilização do concreto como contribuição para a sustentabilidade na construção civil.** Revista Multidisciplinar Do Nordeste Mineiro–Unipac ISSN, 2178, 6925, 2018

BASTOS, P. S. **Fundamentos do Concreto Armado.** 2117 - Estruturas de Concreto I. Universidade Estadual Paulista, 2023.

BATTAGIN, A. F. **Cimento Portland.** In: IBRACOM Concreto: Ciência e Tecnologia. 1a. ed. São Paulo: Arte Interativa, v. 1, 2011.

BAUER, L.A.F. **Materiais de construção.** 6. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

BORBA, W. F. de.; CASSOL, G.; BUENO, Liane da Silva. **Confecção de concreto com utilização de agregado reciclado.** In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia. Anais [...] Foz do Iguaçu, 2016. Disponível em: <https://www.confea.org.br/sites/default/files/uploadsimce/contecc2016/civil/confec%C3%A7%C3%A3o%20de%20concreto%20com%20utiliza%C3%A7%C3%A3o%20de%20agregado%20reciclado.pdf>. Acesso em: 13 out. 2024.

CASAGRANDA, H. R. **Concreto: Evolução das suas aplicações, da sua origem até a atualidades.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade do Sul de Santa Catarina. Florianópolis, 2019. p.82. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/4729/6/TCC%20HANN A H%20CASAGRANDA%20-%20CORRIGIDO.pdf>. Acesso: 02 out. 2024.

CINCOTTO, M. A. **Reações de Hidratação e Pozolânicas.** In: ISAIA, G. C. Concreto: Ciência e Tecnologia. 1. ed. São Paulo: IBRACON, 2011. 1 v.

CINTRA, J. C.; AOKI, N.; ALBIERO, J. H., **Fundações-Ensaios estáticos e dinâmicos**, São Paulo-SP, Editora Oficina de Textos, 2013.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº 307: estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.** Brasília-DF: Diário Oficial da União: seção 1, n. 136, p. 95-96, 2002. Disponível em http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=305. Acesso em: 05 out. 2024.

CORDEIRO, A. C. **Métodos de Dosagem de Concreto: Um Estudo sobre os métodos ABCP e Caldas Branco /** Organiza dor Celso Amaral Cordeiro. Itajubá, MG: editora Kreatik, 2024. 35p. :il.

COSTA, V. S. da; TEIXEIRA, F. R.; RODRIGUES, J. M.; TORRES, A. da S. **Estudo do uso de resíduo da fresagem de pavimentos flexíveis em concretos estruturais.** Paranoá, n. 20,

2018. Disponível em <https://doi.org/10.18830/issn.1679-0944.n20.2018.02>. Acesso em 24 set. 2024.

DOMENICO, P. D.; LIMA, T. T.; CASTRO, R. M.; CASTRO, M. N. **Influência do agregado miúdo reciclado na resistência à compressão e porosidade do concreto**. Revista Internacional de Ciências, Rio de Janeiro, v. 08, n. 01, p. 129-147, 30 jun. 2018. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/ric/article/view/33254/24908>. Acesso em: 17 out. 2024.

FARIAS, L.A.; LOPES, A.N.M.; STIVAL, M.L.; ANDRADE, M.A.S.; BITTENCOURT, R.M. **Ensaios de Tração Direta em Corpos de Prova de Concreto**. 2004. Goiânia – GO. Disponível em: <https://www.cgti.org.br/publicacoes/wp-content/uploads/2016/04/Ensaios-de-Trac%CC%A7a%CC%83o-Direta-em-Corpos-de-Prova-de-Concreto.pdf>. Acesso em: 18 out. 2024.

HARTMANN, C.; JEKNAVORIAN, A.; SILVA, D.; BENINI, H. **Aditivos Químicos para concretos e cimentos**. In: ISAIA, G. C. 126 Concreto: Ciência e Tecnologia. 1. ed. São Paulo: IBRACON, 2011. 1 v.

HELENE, P.; ANDRADE, T. **Concreto de Cimento Portland**. In: ISAIA, Geraldo Cechella. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. São Paulo: Ibracon, 2007.

ISAIA, G.C. (Org.). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: IBRACON. 2v, 2011.

JACQUES, J. R. **Estudo da viabilidade técnica da utilização de concreto reciclado como agregado graúdo em concreto de cimento Portland**. 63 p. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, RS, 2013.

KAEFER, L. F. **A Evolução do Concreto Armado**. São Paulo – SP. 1998. Disponível em: <https://wwwp.feb.unesp.br/lutt/Concreto%20Protendido/HistoriadoConcreto.pdf>. Acesso em: 02 set. 2024.

MARTINS, L.; CORDEIRO, L. de N. P.; PAES, I. N. L.; SOUZA, P. S. L.; SILVA, A. A. P. e S. **Influence of recycled concrete aggregates in properties of new concretes**. Research, Society and Development, [S. l.], v. 10, n. 4, p. e34210414238, 2021. DOI: 10.33448/rsdv10i4.14238. Disponível em: <https://www.rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/14238>. Acesso em: 19 jun. 2024.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto Microestrutura, Propriedade e Materiais-2ª Edição**. Ed.: IBRACON, 2014. ISBN.:978-85-98576213. Português.

MESQUITA, L. C.; AZEVEDO, I. C. D. D.; CÂNDIDO, E. S.; CATHOUD, G. A. **Análise da viabilidade técnica de utilização de resíduos de construção e demolição na fabricação de blocos de vedação**. REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 10, n 3, p.30-40, 2015. D.O.I. 10.5216/reec.V10i3.32651. Disponível em <https://www.revistas.ufg.br/reec/article/view/32651>. Acesso em 24 out. 2024.

Ministério do Meio Ambiente. **Construção Sustentável.** 2024. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/planejamento-ambiental-e-territorial-urbano/urbanismo-sustentavel/constru%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel.html#:~:text=Al%C3%A9m%20disso%C2%20deve%C2%20evitar,ver%C3%A3o%20e%20ensolarados%20no%20inverno.> Acesso em 10 de nov. 2024.

NASCIMENTO, F. B. C. do. **Concreto reforçado com fibras de aço.** Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIT - Alagoas, v. 3, n. 1, p. 43-56, 2015. Disponível em <https://periodicos.set.edu.br/fitsexatas/article/view/2638>. Acesso em 24 out. 2023.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto.** 5ºEdição. Ed. Bookman, 2015. ISBN 978-85-8260-365-9.

PANZERA, T. H.; SABARIZ, A. L. R.; STRECKER, K.; BORGES, P. H. R.; VASCONCELOS, D. C. L.; VASCONCELOS, W. L. **Propriedades mecânicas de materiais compósitos à base de cimento Portland e resina epóxi.** Cerâmica 56 (2010) 77-82.

QUIZA, E. **A História do Concreto. Construção Civil Pet.** 2017. Disponível em: <https://civilizacaoengenheira.wordpress.com/2017/03/22/a-historia-do-concreto/>. Acesso: 02 out. 2024.

RAMOS, V. E. T. T. **Análise das propriedades de concreto produzido com agregado miúdo reciclado proveniente de corpos de prova de concreto.** 48 p. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Campus do Sertão, Delmiro Gouveia, AL, 2021.

REPETTE, W. L. **Concreto Autoadensável.** In: Concreto: Ciência e Tecnologia. Editor Geraldo C. Isaia. Volume II IBRACON. 2011.

ROSSIGNOLO, J. A.; AGNESINI, M.V.C. **Concreto Leve Estrutural.** In: ISAIA, G.C. (ed.). Concreto: Ciência e Tecnologia. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), 2011, v.2.

SANTOS, D. V.; CABRAL, A. E. B. (2020). **Análise técnica da reciclagem de resíduos de construção em canteiro de obras.** Ambiente Construído, 20, 363.

SBRIGHI NETO, C. **Agregados Naturais, Britados e Artificiais para Concreto.** In ISAIA, Geraldo Cechella. Concreto: ciência e tecnologia. São Paulo: IBRACON, 2011. v. 1

SILVA, CM da; SANTOS Júnior, GL dos; S. da S., IK **Concreto de alto desempenho: composição, produção e propriedades.** Ponta Grossa, PR: 2022.

SILVA, K.L.A.; ALONSO, M.F.; OLIVEIRA, L.P. **Análise das emissões atmosféricas de fontes móveis para a cidade de Pelotas – RS.** Ciência e Natura, Santa Maria, v. 38, p. 347-353, 2016.

SOUZA, C.R. **A Extração de Areia: Breve Revisão da Legislação Incidente.** 2022. 36. USP. São Paulo, SP 2022. Disponível em: <https://bdta.abcd.usp.br/directbitstream/4ad571f6-db3c-4363-a3f6-c91ecfa2edea/CamillaRosadeSouza%20PQI22.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2024.

TAGLIANI, S. **O que é e quais as vantagens e desvantagens do concreto colorido?** Engenharia 360, 2016. Disponível em: <https://engenharia360.com/o-que-e-e-quais-avantagens-e-desvantagens-do-concreto-colorido/>. Acesso em: 01 out. 2023.

TORAYA, J. de las C.. **Un siglo de Cemento en Latinoamérica, Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto – IMCYC**, Mexico, 1999. Revista arquitextos. ISSN 1809-6298. Disponível em: <https://vitruvius.com.br/index.php/revistas/read/arquitextos/03.028/748/pt>. Acesso em: 05 out. 2024.

VERIAN, K. P.; ASHRAF, W.; CAO, Y. (2018). **Properties of recycled concrete aggregate and their influence in new concrete production**. Resources, Conservation and Recycling, 133, 30–49.