Ministério da Educação
Secretaria de Educação
Profissional e Tecnológica

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA BAHIA
DIRETORIA DE ENSINO DO CAMPUS DE SALVADOR
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL

ÁLEF SILVA DOS SANTOS

ISMAEL RIBEIRO FREITAS JUNIOR

ESTUDO SOBRE A RECICLAGEM DE CONCRETO DE CORPOS DE PROVA

SALVADOR

2025

ÁLEF SILVA DOS SANTOS
ISMAEL RIBEIRO FREITAS JUNIOR

ESTUDO SOBRE A RECICLAGEM DE CONCRETO DE CORPOS DE PROVA

Atividade de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Técnico em Edificações Integrado ao Ensino Médio do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – Campus Salvador, como requisito parcial à obtenção do título de Técnico em Edificações.

Orientador/a: Prof. Adriano Silva Fortes

SALVADOR
2025

FICHA CATALOGRÁFICA

S237e Santos, Álef Silva dos

Estudo sobre a reciclagem de concreto de corpos de prova / Álef Silva dos Santos; Ismael Ribeiro Freitas Junior; orientador Adriano Silva Fortes -- Salvador, 2025.

94 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico em Edificações) -- Instituto Federal da Bahia, 2025.

1. Concreto. 2. Reciclagem de concreto. 3. Corpos de prova. 4. Resíduos. I. Freitas Junior, Ismael Ribeiro, colab. II. Fortes, Adriano Silva, orient. III. TÍTULO.

CDU 691.32

ÁLEF SILVA DOS SANTOS

ISMAEL RIBEIRO FREITAS JUNIOR

ESTUDO SOBRE A RECICLAGEM DE CONCRETO DE CORPOS DE PROVA

Atividade de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Técnico em Edificações Integrado ao Ensino Médio do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – Campus Salvador, como requisito parcial à obtenção do título de Técnico em Edificações.

Orientador(a): Prof. Adriano Silva Fortes

APROVADO EM: 07 / 02 / 2025

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
gov.br ADRIANO SILVA FORTES
Data: 28/03/2025 17:03:52-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Adriano Silva Fortes – Orientador(a)
Doutorado em Engenharia Civil - UFSC/Univ. do Minho PT
Professor EBTT do IFBA Campus Salvador

Documento assinado digitalmente
gov.br LUIS CLAUDIO ALVES BORJA
Data: 18/03/2025 20:44:47-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Luis Claudio Alves Borja
Doutorado em Engenharia Industrial - UFBA
Professor EBTT do IFBA Campus Salvador

Documento assinado digitalmente
gov.br REGINA MARIA CUNHA LEITE
Data: 18/03/2025 10:28:56-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof.ª Regina Maria Cunha Leite
Doutorado em Gestão e Tecnologia Industrial - SENAI/CIMATEC
Professora EBTT do IFBA Campus Salvador

RESUMO

A construção civil é uma das principais geradoras de resíduos sólidos, sendo o concreto um dos materiais mais descartados. Este estudo avalia a viabilidade da reciclagem de corpos de prova de concreto descartados em Salvador, analisando suas propriedades físicas e mecânicas para possível reutilização na produção de novos concretos. Para isso, são realizados ensaios laboratoriais para caracterização dos agregados reciclados, incluindo análise granulométrica, teor de material pulverulento, absorção de água, massa específica e resistência à compressão. Os resultados indicam que as faixas granulométricas dos agregados reciclados são semelhantes às dos agregados naturais, demonstrando a eficiência do processo de britagem. A análise do teor de materiais pulverulentos revela que os agregados reciclados apresentam valores dentro dos limites estabelecidos pela NBR 15116:2021, sendo de 3,8% para o concreto de 30 MPa, superior ao encontrado por Carvalho (2018), que obteve 1,6%. Além disso, a absorção de água dos agregados reciclados permanece dentro dos limites normativos. A massa específica e unitária dos agregados reciclados é inferior à dos agregados naturais, o que pode influenciar a resistência do concreto, mas não inviabiliza sua aplicação. Os ensaios de resistência mecânica demonstram que a substituição parcial dos agregados naturais por reciclados pode ser viável, desde que atendidas as especificações normativas e realizados os ajustes necessários na dosagem. Dessa forma, o estudo contribui para a gestão sustentável dos resíduos da construção civil, propondo alternativas para a reutilização dos corpos de prova descartados em Salvador.

Palavras-chave: Concreto. Reciclagem de concreto. Corpos de prova. Resíduos.

ABSTRACT

The construction industry is one of the main generators of solid waste, with concrete being one of the most discarded materials. This study evaluates the feasibility of recycling discarded concrete specimens in Salvador, analyzing their physical and mechanical properties for possible reuse in the production of new concrete. To this end, laboratory tests are carried out to characterize the recycled aggregates, including granulometric analysis, powdery material content, water absorption, specific mass, and compressive strength. The results indicate that the granulometric ranges of the recycled aggregates are similar to those of natural aggregates, demonstrating the efficiency of the crushing process. The analysis of the powdery material content reveals that the recycled aggregates present values within the limits established by NBR 15116:2021, being 3.8% for 30 MPa concrete, higher than that found by Carvalho (2018), who obtained 1.6%. In addition, the water absorption of the recycled aggregates remains within the normative limits. The specific and unit mass of recycled aggregates is lower than that of natural aggregates, which may affect the strength of the concrete, but does not make its application unfeasible. The mechanical strength tests demonstrate that partial replacement of natural aggregates by recycled aggregates may be feasible, provided that the normative specifications are met and the necessary adjustments are made to the dosage. In this way, the study contributes to the sustainable management of construction waste, proposing alternatives for the reuse of test specimens discarded in Salvador.

Keywords: Concrete. Concrete recycling. Test specimens. Waste.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FLUXOGRAMAS

Fluxograma 1 - Estrutura do trabalho.....17
Fluxograma 2 - Beneficiamento de resíduos.....23

FIGURAS

Figura 1 - Microestrutura do concreto com agregados naturais.....35
Figura 2 - Microestrutura do concreto com agregados reciclados..... 35
Figura 3 - Absorção média de água e abatimento em diferentes taxas de substituição de Agregados reciclados de concreto (RCA)..... 42

GRÁFICOS

Gráfico 1 - Materiais produzidos pelas unidades de reciclagem de RCC no Brasil... 37
Gráfico 2 - Curva granulométrica do agregado graúdo reciclado..... 37
Gráfico 3 - Curva granulométrica do agregado miúdo reciclado.....38
Gráfico 4 - Quantidade média de CPs de concreto descartados mensalmente..... 48
Gráfico 5 - Representatividade dos CPs de concreto descartados.....49
Gráfico 6 - Gerenciamento dos resíduos de corpos de prova.....50
Gráfico 7 - Porcentagem de corpos destinados à reciclagem ou reutilização..... 51
Gráfico 8 - Porcentagem de corpos destinados à reciclagem ou reutilização..... 52
Gráfico 9 - Conhecimento sobre a NBR 15116:2021..... 52
Gráfico 10 - Curva da composição granulométrica do agregado miúdo.....71
Gráfico 11 - Curva da composição granulométrica do agregado graúdo natural.....73
Gráfico 14 - Representação da absorção das amostras secas ao ar e em estufa.... 79
Gráfico 15 - Representação dos resultados de tração diametral.....80
Gráfico 16 - Representação dos resultados de resistência à compressão.....81

FOTOS

Foto 1 - Primeira etapa da britagem manual.....56
Foto 2 - Primeiro processo de beneficiamento.....56
2.1) Material passante na peneira de 25 mm. 2.2) Material retido na peneira de 25. 2.3) Finos e agregados miúdo reciclado (AMR).....56
Foto 3 - Separação dos agregados por dimensão..... 57
Quadro 10 - Limites da composição granulométrica do agregado.....58
Foto 4 - Finos do processo de britagem.....59
Foto 5 - Armazenamento do material obtido da britagem manual..... 59
5.1) Material armazenado. 5.2) Material obtido.....59
Foto 6 - Redução de agregado miúdo.....61
Foto 7 - Ensaios granulométricos.....62
7.1) Série de peneiras usadas no ensaio granulométrico da brita. 7.2) Série de

peneiras usadas no ensaio granulométrico da areia. 7.3) Brita despejada sobre as peneiras. 7.4) Areia despejada sobre as peneiras.....62
Foto 8 - Etapas do ensaio de absorção..... 63
8.1) Lavagem do material. 8.2) Submersão em água por 24 horas. 8.3) Secagem do material. 8.4) Pesagem da superfície saturada seca. 8.5) Pesagem do material seco pós-estufa..... 63
Foto 9 - Ensaio do teor de material pulverulento..... 64
9.1) Lavagem do material. 9.2) Retirada dos grãos presos na peneira. 9.3) Secagem do material. 9.4) Pesagem do material seco pós-estufa. 9.5) Comparação da água de lavagem com água limpa..... 64
Foto 10 - Determinação de massas..... 65
10.1) Deteminação de massa unitária da areia. 10.2) Determinação de massa unitária brita. 10.3) Método do frasco chapman.....65
Foto 11 - Detalhes da moldagem dos CPs.....66
11.1) CPs preparados. 11.2) Mistura do concreto. 11.3) Rasamento e identificação dos CPs. 11.4) Armazenamento..... 66
Foto 12 - Detalhes do ensaio de abatimento de cone do concreto.....67
12.1) Aparelhagem do ensaio. 12.2) Golpes na primeira camada. 12.3) Aferição do abatimento.....67
Foto 13 - Corpos de prova do ensaio de absorção.....68
Foto 14 - CPs passando pela retificação..... 68
Foto 15 - Equipamentos utilizados..... 69
15.1) Equipamento utilizado para o ensaio de tração. 15.2) Equipamento utilizado para ensaio de compressão..... 69
Foto 16 - Ensaios de resistência à compressão e tração diametral.....69
16.1) CP posicionado - ensaio de tração diametral. 16.2) CP rompido - ensaio de tração diametral. 16.3) CP posicionado - ensaio de compressão. 16.4) CP rompido - ensaio de compressão..... 69
Foto 17 - Resultados do Slump.....77
17.1) Abatimento da amostra de concreto T01REF. 17.2) Abatimento da amostra de concreto T02REC. 17.3) Abatimento da amostra de concreto T03REC. 17.4) Abatimento da amostra de concreto T04REC.....77

LISTA DE QUADROS E TABELAS

QUADROS

Quadro 1 - Quadro metodológico..... 20
Quadro 2 - CONAMA nº 307..... 24
Quadro 3 - Cimento portland..... 33
Quadro 4 - Influência do teor de material pulverulento na argamassa..... 39
Quadro 5 - Requisitos do teor de material pulverulento para agregados reciclados. 39
Quadro 6 - Taxa de absorção de água dos agregados reciclados..... 41
Quadro 7 - Resistência à compressão e à tração de concretos feitos com agregados reciclados..... 45
Quadro 8 - Carta traço do concreto utilizado..... 55
Quadro 9 - Variáveis escolhidas para pesquisa..... 55
Quadro 11 - Limites da composição granulométrica do agregado miúdo..... 70
Quadro 12 - Composição granulométrica do agregado miúdo natural..... 70
Quadro 13 - Limites da composição granulométrica do agregado graúdo..... 72
Quadro 14 - Composição granulométrica do agregado graúdo natural..... 72
Quadro 15 - Composição granulométrica do agregado graúdo reciclado de 30 MPa... 74
Quadro 16 - Composição granulométrica do agregado graúdo reciclado de 40 MPa... 74
Quadro 17 - Abatimento de cone obtido nos ensaios..... 77
Quadro 18 - Resultados do ensaio de absorção seco ao ar e seco em estufa.....78
Quadro 19 - Resultados do ensaio de tração diametral..... 79
Quadro 20 - Resultados do ensaio de resistência à compressão obtidos..... 81

TABELAS

Tabela 1 - Massa Específica dos agregados reciclados..... 43
Tabela 2 - Caracterização do agregado miúdo natural..... 71
Tabela 3 - Caracterização do agregado graúdo natural..... 73
Tabela 4 - Caracterização do agregado graúdo reciclado de 30 MPa..... 76
Tabela 5 - Caracterização do agregado graúdo reciclado de 40 MPa..... 76

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRECON	Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil
AGR	Agregados Graúdos Reciclados
AMR	Agregado Miúdo Reciclado
ARC	Agregados Reciclados de Concreto
ARCI	Agregados cimentícios
ARM	Agregados Reciclados Mistos
CENBRA	Central de Badameiros
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CP	Corpos de Prova
GRSCC	Gestão de Resíduos Sólidos da Construção Civil
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
LIMPURB	Empresa de Limpeza Urbana de Salvador
PMGIRS	Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PVE	Pontos de Entrega Voluntária
RCC	Resíduos da Construção Civil
RCD	Resíduos de construção e demolição
RCP	Resíduos de Corpos de Prova
RSCC	Resíduos Sólidos da Construção Civil
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
REF	Traço Referencial
TMP	TEOR DE MATERIAL PULVERULENTO

AGRADECIMENTOS

Agradecemos, primeiramente, a Deus, que nos deu forças para seguir em frente a cada dia no IFBA. Aos nossos pais, que nos acompanharam em toda a nossa caminhada e são, abaixo de Deus, os maiores merecedores de reconhecimento por seu apoio incondicional. A nossa família, que assim como nossos pais, foram os que mais nos ajudaram a chegar até aqui.

Aos nossos amigos, que estiveram ao nosso lado no dia a dia acadêmico, tornando essa jornada mais leve e significativa. Em especial, Guilherme de Almeida e Cauê Raimundo, que compartilharam conosco os últimos três anos, fortalecendo nossa trajetória com amizade e companheirismo. Agradecemos também a todos os nossos professores, que, com dedicação e paciência, tentaram nos ensinar e orientar ao longo dessa caminhada.

Não poderíamos deixar de expressar nossa gratidão à toda equipe da CONCRELAB, que nos auxiliou durante o processo de pesquisa experimental, proporcionando suporte técnico e infraestrutura essencial para o desenvolvimento do nosso trabalho. Em especial, agradecemos aos técnicos em edificações do laboratório, João Cesar Pugliese e Elias Conceição, pelo compromisso e preocupação demonstrados.

Por fim, nosso agradecimento ao professor Adriano Silva Fortes, nosso orientador, que nos guiou com sua experiência e nos deu a oportunidade de realizar as etapas de pesquisa experimental na CONCRELAB.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para essa conquista, nosso muito obrigado!

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO..... 15
1.1 JUSTIFICATIVA..... 14
1.2 OBJETIVOS..... 16
1.2.1 Geral..... 16
1.2.2 Específicos..... 16
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO..... 16
2 METODOLOGIA..... 18
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... 21
3.1 A CONSTRUÇÃO CIVIL E OS IMPACTOS AMBIENTAIS..... 22
3.1.1 Sustentabilidade na construção civil..... 22
3.2 RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL..... 24
3.2.1 Classificação..... 24
3.2.2 Geração e gerenciamento de resíduos sólidos da construção civil..... 25
3.2.3 Reciclagem de resíduos na construção civil..... 27
3.2.4 Situação de Salvador..... 30
3.3 CONCRETO..... 32
3.3.1 Cimento Portland..... 32
3.3.2 Agregados..... 33
3.4 AGREGADOS RECICLADOS..... 34
3.4.1 Composição granulométrica..... 36
3.4.2 Material pulverulento..... 38
3.4.3 Forma e textura das partículas..... 40
3.4.4 Trabalhabilidade e absorção de água..... 40
3.4.5 Impurezas..... 42
3.4.6 Massa específica e unitária..... 43
3.4.7 Resistência do concreto produzido com agregados reciclados..... 43
4 RESÍDUOS SÓLIDOS DE LABORATÓRIOS DE CONTROLE TECNOLÓGICO DE CONCRETO..... 46
4.1 CORPOS DE PROVAS DE CONCRETO ROMPIDOS..... 47
4.1.1 Levantamento das quantidades de corpos de provas descartados..... 48
4.1.2 Destinação e atual gestão dos resíduos..... 50
4.1.3 Interesse de reciclagem das empresas..... 51
5 PESQUISA EXPERIMENTAL..... 54
5.1 MATERIAIS E MÉTODOS..... 54
5.1.1 Britagem manual..... 55
5.2 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS..... 59
5.2.1 Ensaio de composição granulométrica..... 61
5.2.2 Ensaio de absorção de água..... 62
5.2.3 Ensaio do teor de material pulverulento..... 63

5.2.4 Determinação de massa específica e unitária..... 64
5.3 ENSAIOS DE CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO..... 65
5.3.1 Moldagem dos corpos de prova e slump..... 65
5.3.2 Ensaio de absorção do concreto por imersão.....67
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 70
6.1 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS..... 70
6.2 ABATIMENTO DE CONE..... 77
6.3 ENSAIO DE ABSORÇÃO DO CONCRETO..... 78
6.4 ENSAIO DE TRAÇÃO DIAMETRAL..... 79
6.5 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....80
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....83
8 REFERÊNCIAS.....86
9 APÊNDICE A – ENTREVISTA.....90
10 ANEXO A – AGREGADO MIÚDO - AREIA..... 91
11 ANEXO B – AGREGADO GRAÚDO - BRITA NATURAL.....92
12 ANEXO C – AGREGADO GRAÚDO - RECICLADO 30 MPa.....93
13 ANEXO D – AGREGADO GRAÚDO - RECICLADO 40 MPa.....94

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos setores que mais consome recursos naturais e gera detritos, sendo responsável por 80% dos resíduos globais, devido a práticas antiquadas e resistência à tecnologia (Cruz; Mattana; Viera, 2023). Esse setor, além de provocar consideráveis impactos ambientais, sociais e econômicos, gera efeitos adversos em todas as fases do seu processo produtivo. Os resíduos gerados por essa indústria (resíduos de construção e demolição - RCD) representam cerca de um terço de todo o desperdício gerado no mundo (Alencar, 2023). Segundo a ANEPA (2022), no Brasil, o setor de agregados teve um crescimento no ano de 2020 com um consumo de 605 milhões de toneladas, um aumento de 13%, em relação a 2019. Esses desperdícios gerados pelo setor geram oportunidades significativas de valorização de alta qualidade, mas são pouco aproveitadas. A produção de quantidades grandiosas desses materiais residuais apresenta grandes desafios em termos de sustentabilidade.

Segundo dados de 2012 do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), a média de resíduos sólidos gerados pelas ações da construção civil corresponde a 31 milhões de toneladas por ano. No município de Salvador, conforme informações fornecidas pela Empresa de Limpeza Urbana de Salvador (LIMPURB), somente no 2ano de 2018 foram recolhidas 730 mil toneladas de entulho, e entre janeiro e março de 2019, a soma já equivalia a 188 mil toneladas (Santos; Silva; Silva, 2022). Devido ao crescimento urbano e às constantes demandas por infraestrutura, essa problemática se agrava devido ao volume expressivo de resíduos produzidos, especialmente o concreto, que, em conjunto com a argamassa, totaliza 53% de RCD, e, juntamente com o material cerâmico e as rochas, atinge 72% (Carneiro et al., 2000).

Nesse contexto, surge a necessidade de buscar alternativas que promovam a redução dos impactos ambientais, como a reutilização de materiais descartados. O presente estudo foca especificamente nos corpos de prova, resíduos provenientes de laboratórios de ensaios tecnológicos, que geralmente são descartados sem reaproveitamento, apesar de sua composição permitir a reciclagem e a reintegração em novos processos construtivos.

A pesquisa busca responder à seguinte questão: qual é a viabilidade técnica da utilização do concreto reciclado? Essa pergunta norteia o estudo ao explorar o

reaproveitamento dos corpos de prova, avaliando tanto as propriedades físicas e mecânicas do concreto reciclado quanto sua adequação para diferentes aplicações na construção civil. A investigação se insere em um cenário de crescente preocupação ambiental, onde a reciclagem e o reaproveitamento de materiais têm o potencial de transformar práticas tradicionais em soluções mais sustentáveis.

A relevância do tema está diretamente ligada à situação observada na cidade de Salvador, que, no ano de 2002, dispunha de três formas de recolhimento de resíduos: pelos próprios geradores, que transportam o resíduo diretamente para o destino final; por empresas credenciadas, que cobram pelo serviço e têm permissão da Prefeitura para a coleta e o transporte de resíduos até o aterro; e pela LIMPURB nos PDEs, objetivando reduzir a disposição aleatória (Azevedo; Kiperstok; Moraes, 2006). A cidade enfrenta atrasos significativos no gerenciamento de resíduos sólidos da construção civil, conforme estabelecido pela Resolução nº 307 do CONAMA. Em particular, os corpos de prova representam um ponto crítico dessa questão, uma vez que são descartados em grande escala sem qualquer plano estruturado de reaproveitamento. O estudo pretende, portanto, contribuir para a redução dos impactos ambientais e econômicos, propondo soluções viáveis e normatizadas para a reutilização desse tipo de resíduo.

Por meio desta abordagem, espera-se não apenas avaliar a viabilidade técnica do concreto reciclado, mas também ampliar as possibilidades de gestão sustentável dos resíduos sólidos na construção civil, promovendo práticas que alinhem eficiência, economia e responsabilidade ambiental.

1.1 JUSTIFICATIVA

Nas experiências de estudantes do curso Técnico em Edificações do Instituto Federal da Bahia, observou-se a crescente necessidade de tornar a construção civil mais sustentável. A partir de uma pesquisa sobre a gestão de resíduos sólidos da construção civil (GRSCC), foi identificado que a cidade de Salvador está atrasada em relação ao gerenciamento adequado dos resíduos, principalmente na 5ª fase do GRSCC, conforme disposto na Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que trata da destinação desses resíduos.

Dentre os resíduos gerados, destacam-se os corpos de prova (CPs), comumente descartados em larga escala nos laboratórios de ensaios de controle

tecnológico e concreteiras, com um plano superficial de reaproveitamento. Esses resíduos, provenientes de testes laboratoriais, não fazem parte de nenhum plano de reciclagem, o que torna seu descarte uma prática comum e insustentável. A necessidade de dados sobre o descarte de CPs e seus potenciais destinos recicláveis justifica a pesquisa, que visa investigar as melhores soluções técnicas para reutilização dos resíduos gerados pela construção civil, com foco nos Resíduos de Corpos de Prova (RCPs).

Além disso, a reciclagem de concreto é outra área com grande potencial de transformação na construção civil. Os resíduos de concreto, que representam uma parte significativa dos resíduos da construção, possuem vantagens consideráveis devido ao conhecimento das propriedades do material de origem. Embora diversos países já utilizem esses resíduos com sucesso, o Brasil ainda carece de pesquisas aprofundadas que sirvam de ferramenta para sua utilização eficiente, bem como de regulamentações que punam aqueles que descartam resíduos de forma inadequada no meio ambiente. A disposição do CONAMA (2002) sobre a gestão dos resíduos da construção civil, que entrou em vigor em 2003, é um passo importante, mas ainda há muito a ser feito para aplicar e fortalecer essas regulamentações.

A utilização de resíduos de concreto reciclado como agregado para novas dosagens pode reduzir significativamente os custos com a exploração e o transporte dos agregados naturais e, ao mesmo tempo, diminuir o volume de resíduos despejados no meio ambiente (Buttler, 2003). A necessidade de destinação dos escombros na Segunda Guerra Mundial fez das cidades europeias as pioneiras no desenvolvimento de reciclagem de RCD. Com a maior escassez de recursos e espaços para destinação de resíduos, alguns desses países já possuem normatização que prevê a utilização de RCD em concreto com função estrutural. Países como a Espanha, por exemplo, utilizam concreto com agregados reciclados em diversas obras. Em Valência, uma ponte estaiada com 145m de comprimento, composta por dois vãos assimétricos de 45m e 90m, respectivamente, foi concretada com uma mistura contendo 35 MPa e 20% de substituição dos agregados naturais graúdos por agregados de resíduo de concreto (Gerin, 2019). Na Alemanha, o estudo de Stürmer e Kulle (2017) estimou que milhares de construções tenham utilizado essa tecnologia, ou seja, concretos com agregados de resíduos de construção e demolição.

Estudos sobre agregados reciclados de concreto de alta resistência indicam que esses materiais possuem propriedades aglomerantes, e o desempenho do concreto produzido com eles é frequentemente superior ao dos concretos fabricados com agregados de resistência inferior. Assim, os corpos de prova descartados em laboratórios apresentam um grande potencial para reciclagem e reaproveitamento. A pesquisa e o desenvolvimento de soluções para a gestão eficiente desses resíduos, como o estudo das propriedades dos materiais reciclados e o uso de tecnologias de reaproveitamento, são essenciais para uma construção civil mais sustentável e responsável.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Geral

Investigar a viabilidade técnica de reciclar os resíduos provenientes de corpos de prova de concreto.

1.2.2 Específicos

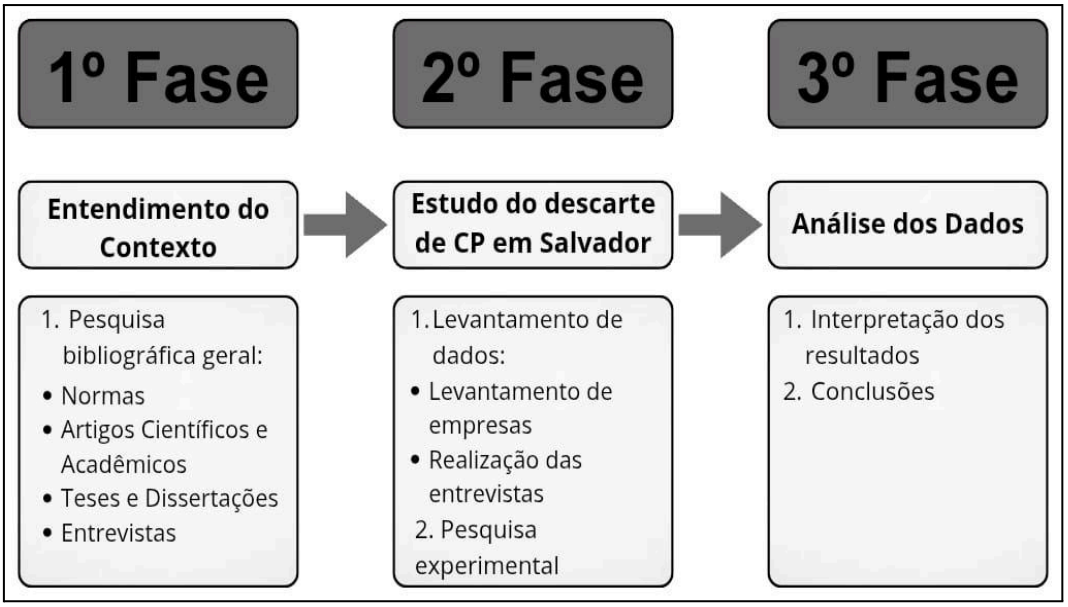
- Examinar e avaliar as diversas possibilidades de aplicação do concreto reciclado na construção civil em Salvador, levando em conta suas características, viabilidade técnica e econômica, e capacidade de substituir materiais tradicionais.
- Analisar as propriedades mecânicas do concreto com diferentes proporções de agregados reciclados de corpos de prova, por meio de testes de compressão, tração na flexão e permeabilidade, comparando os resultados com as normas técnicas vigentes e o concreto convencional.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

A organização deste trabalho segue a seguinte sequência: uma introdução, que apresenta informações gerais e contextualiza o tema abordado; a metodologia, detalhando os métodos e ferramentas utilizados; uma fundamentação teórica, que serve como base para o aprofundamento do assunto e sustenta as discussões

subsequentes; um levantamento do descarte de RCD na cidade escolhida; em seguida, a pesquisa exploratória, na qual se busca alcançar os objetivos pré-definidos; e, por fim, a análise dos resultados e as discussões, acompanhadas das considerações finais, que encerram o estudo com uma síntese das ideias desenvolvidas. A elaboração do trabalho foi dividida em três etapas principais. A primeira consistiu em uma pesquisa bibliográfica geral, explorando diferentes fontes para obter um entendimento mais amplo do tema. Na segunda etapa, foi realizada a coleta de informações específicas sobre o objeto de estudo em Salvador–BA, além da execução prática por meio de uma pesquisa experimental. Na terceira e última etapa, priorizou-se a análise dos dados obtidos, tanto da pesquisa bibliográfica quanto das investigações práticas, buscando alcançar os objetivos gerais e específicos. A estrutura do trabalho é demonstrada no fluxograma 1.

Fluxograma 1 - Estrutura do trabalho.



Fonte: Autoria própria (2025).

2 METODOLOGIA

Neste capítulo são apresentados a metodologia e os instrumentos metodológicos que conduzem o estudo. Segundo Severino (2013), a ciência é obtida mediante técnicas exercidas metodicamente. A pesquisa científica é conduzida pela metodologia, desenvolvida pelos meios necessários para obter o conhecimento.

Na pesquisa, uma das metodologias empregadas é a exploratória, pois o estudo explora o gerenciamento de resíduos sólidos da construção civil em Salvador, expondo a necessidade da introdução ativa da reutilização do concreto e resíduos da construção civil no município, direcionada pelo objeto de pesquisa, os corpos de prova.

A pesquisa descritiva visa principalmente a descrição das características de determinado objeto a partir da coleta de dados e o estabelecimento entre variáveis (GIL, 2002). A partir disso, também é possível classificar a pesquisa como descritiva, considerando que a obtenção de dados é uma etapa presente e indispensável para mensurar e comprovar estatisticamente o tamanho da problemática levantada pelo estudo.

Quanto à abordagem, a pesquisa assume uma postura quali-quantitativa, reunindo o aspecto amplo, determinado pelas análises locais e atuais subjetivas ao tema, e o fator estatístico, concebido através dos dados participantes da pesquisa. As duas formas de abordagem ficam muito evidentes e dividem o estudo de forma equilibrada, o que é perceptível nas técnicas de metodologia adotadas. São elas: revisão bibliográfica, estudo de caso, revisão documental, observação e pesquisa experimental.

A revisão bibliográfica contribui para a obtenção de dados e informações sobre a gestão de resíduos sólidos da construção civil e reciclagem de resíduos da construção civil (RCC) em Salvador. O método também é útil para adquirir conhecimento sobre os procedimentos que podem ser aplicados para a reutilização dos resíduos de corpos de prova. A técnica utilizada para realizar esta etapa é descrita por Severino (2013) como técnica de identificação, levantamento, exploração de documentos, fontes do objeto pesquisado e registro das informações retiradas nessas fontes, utilizadas no desenvolvimento do trabalho.

O estudo de caso descreve de maneira mais detalhada o objeto de pesquisa

em Salvador, trazendo o levantamento de empresas que descartam corpos de prova, métricas dos resíduos de corpos de prova das respectivas empresas, destinação dos resíduos de corpos de prova e informações sobre o gerenciamento dos resíduos de corpos de prova. No tocante às informações sobre o gerenciamento dos resíduos de corpos de prova, prospecta-se uma análise qualitativa dos dados, fazendo um apanhado da gestão desses resíduos em Salvador. A maioria dessas informações é obtida por meio de entrevistas semiestruturadas feitas com as empresas encontradas no levantamento realizado com as buscas de pesquisa. A realização dessas entrevistas é possibilitada pelos meios de comunicação via ligações e chat de mensagens. Foram encontradas 7 empresas do ramo.

A utilização de documentos no processo de pesquisa atrela-se à particularidade e às nuances do objeto e da temática pesquisados (MAZUCATO, 2018). Baseado nisso, prospecta-se realizar uma revisão documental nas normas relativas aos procedimentos para a reutilização dos resíduos de corpos de prova. São elas: NBR 7211 (2022), NBR 10007 (2004), NBR 12655 (2022), NBR 16915 (2021), NBR 17054 (2022), NBR 16917 (2021), NBR 16973 (2021), NBR 9776 (2003), NBR 5738 (2015), NBR 16889 (2020) e NBR 15116 (2021). Espera-se, a partir da revisão, alcançar o conhecimento e embasamento técnico necessário para realizar a pesquisa experimental.

Segundo Gil (2002), a pesquisa experimental consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que podem influenciá-lo, definir grupos de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto. Na pesquisa experimental do estudo, os corpos de prova descartados são os objetos. O experimento tem as seguintes variáveis:

- Foram usadas duas variáveis com substituição parcial de 50% da massa dos agregados graúdos, sendo os dois agregados de concretos com resistências diferentes, para analisar a influência da resistência do concreto original na brita e concreto produzido.
- Foi usada uma variável com substituição total dos agregados graúdos, para analisar a influência da utilização total dos agregados graúdos reciclados.

A partir dessas variáveis, busca-se delimitar o uso desses artefatos como elementos estruturais e não estruturais. Os dois tipos de corpo de prova são submetidos aos ensaios de compressão, tração na flexão e absorção por imersão, que indicam tecnicamente o destino adequado para cada variável.

Por fim, faz-se uma análise a partir do estudo de caso, da revisão documental, da observação e da pesquisa experimental, que conclui em uma sugestão de como reutilizar e destinar os resíduos de corpos de prova em Salvador. O quadro metodológico abaixo resume a metodologia adotada na pesquisa.

Quadro 1 - Quadro metodológico.

<table>
<tr><th>O QUE COLETAR COMO DADOS</th><th>COMO COLETAR</th><th>QUE INSTRUMENTO USAR</th></tr>
<tr><td>Dados e informações sobre a gestão de resíduos sólidos da construção civil e reciclagem de RCC em Salvador.</td><td>Revisão bibliográfica</td><td>Artigos, periódicos, monografias e livros.</td></tr>
<tr><td>Levantamento de empresas que descartam corpos de prova em Salvador.</td><td rowspan="4">Estudo de caso</td><td>Busca nos meios de pesquisa.</td></tr>
<tr><td>Métricas dos resíduos de corpos de prova em Salvador.</td><td rowspan="3">Entrevista semiestruturada (Google Forms, ligações, chat de mensagens e face a face).</td></tr>
<tr><td>Destinação dos resíduos de corpos de prova</td></tr>
<tr><td>Informações sobre o gerenciamento dos resíduos de corpos de prova</td></tr>
<tr><td>Procedimentos para a reutilização dos resíduos de corpos de prova</td><td>Revisão documental e bibliográfica</td><td>Normas, artigos, periódicos, monografias e livros.</td></tr>
<tr><td>Resultados que limitarão a capacidade usual dos materiais reciclados a partir dos resíduos de corpos de prova</td><td>Pesquisa experimental</td><td>Ensaio de compressão, tração na flexão e permeabilidade.</td></tr>
<tr><td>Sugestão de como reutilizar e destinar os resíduos de corpos de prova em Salvador</td><td>Análise de dados e informações</td><td>Dados obtidos a partir do estudo de caso, da revisão documental e da pesquisa experimental.</td></tr>
</table>

Fonte: Autoria própria (2025).

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O concreto reciclado tem demonstrado, em diversos estudos, sua viabilidade para uso estrutural, desde que se mantenha um controle rigoroso na qualidade dos agregados e se façam os devidos ajustes nas dosagens. Segundo Brito e Dhir (2007), quando o projeto e a produção são adequadamente planejados, é possível alcançar resistências à compressão e demais propriedades mecânicas comparáveis às do concreto convencional, o que viabiliza sua aplicação em estruturas. Além disso, a durabilidade do concreto reciclado, embora dependa do tratamento prévio dos agregados, pode ser satisfatória para diversas finalidades estruturais, conforme apontam estudos que enfatizam a importância do controle de variabilidade dos resíduos (Pacheco-Torgal *et al.*, 2013).

Do ponto de vista ambiental, os benefícios são significativos, pois a utilização desses materiais promove a economia circular ao reduzir a quantidade de resíduos enviados a aterros e diminuir a extração de recursos naturais, contribuindo para a preservação ambiental (Monteiro *et al.*, 2018). Essa substituição também acarreta uma diminuição na pegada de carbono, já que o processamento dos agregados reciclados geralmente demanda menos energia do que a extração e o beneficiamento dos materiais virgens. No entanto, desafios como a heterogeneidade dos agregados e a necessidade de ajustes na mistura – muitas vezes exigindo o emprego de aditivos para compensar variações na absorção de água e na resistência – devem ser cuidadosamente considerados, conforme discutido por Zornoza *et al.* (2011).

Em síntese, o uso do concreto reciclado apresenta-se como uma alternativa viável e sustentável para a construção civil, contribuindo tanto para a eficiência estrutural quanto para a redução dos impactos ambientais, desde que se respeitem as normativas e se adotem medidas de controle de qualidade, conforme recomendado pelas diretrizes da ACI (ACI 544.3R-08).

3.1 A CONSTRUÇÃO CIVIL E OS IMPACTOS AMBIENTAIS

3.1.1 Sustentabilidade na construção civil

A Resolução n.º 1 do CONAMA, datada de 23 de janeiro de 1986, caracteriza impacto ambiental como qualquer modificação nas propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, resultante de atividades humanas que podem prejudicar a saúde pública, a segurança, o bem-estar da população, a economia, a biodiversidade, além das condições estéticas e sanitárias e a qualidade dos recursos naturais. Segundo Das Graças Roth e Garcias (2009), a construção civil se destaca como um dos principais setores responsáveis pelos danos ambientais, seja pelo consumo excessivo de recursos naturais ou pelo descarte inadequado de resíduos sólidos.

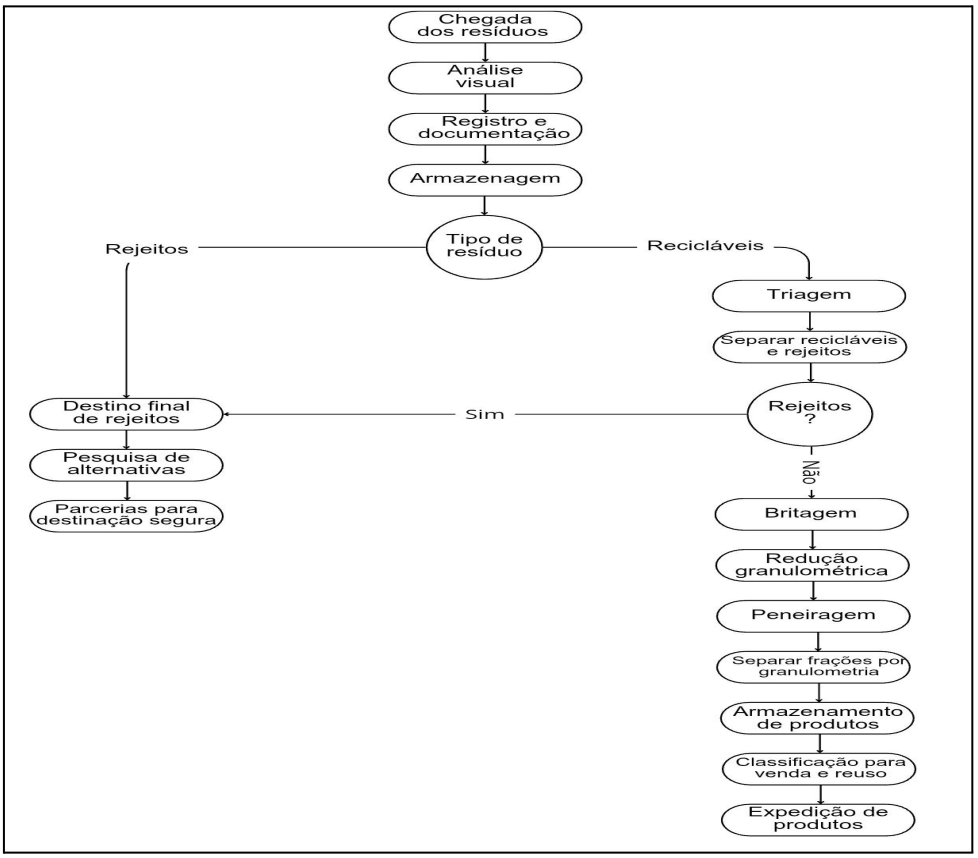
Os efeitos ambientais gerados pela construção civil podem ser compreendidos ao analisar o ciclo completo de suas atividades, que vai desde a concepção do projeto até a execução, operação, desativação, demolição e disposição final dos resíduos. Durante todo esse processo, os resíduos são gerados, desde a preparação do terreno até a destruição de estruturas. A poluição causada pelos resíduos da construção e demolição (RCD) torna-se mais evidente quando esses materiais são descartados de maneira irregular, resultando em poluição visual, degradação dos mananciais, assoreamento dos rios e córregos e dificuldades no tráfego urbano.

Beneficiamento, como ilustra o fluxograma 2, é uma das estratégias fundamentais na gestão eficaz dos resíduos, crucial para a proteção ambiental e o desenvolvimento sustentável. Através de práticas como reciclagem, reaproveitamento e até redução da produção de resíduos, é possível mitigar os impactos ambientais negativos causados pelo descarte incorreto (Oliveira, 2020). A destinação adequada desses materiais contribui para a preservação do solo, evitando a contaminação por bactérias e fungos, e protege os lençóis freáticos e as fontes de água potável. Além disso, colabora para a redução da proliferação de vetores de doenças, como roedores e insetos, responsáveis pela disseminação de várias enfermidades. A gestão responsável também previne acidentes e contaminações, diminui o risco de entupimento das redes de drenagem e o assoreamento de corpos d’água, evitando inundações, problema grave em Salvador.

Essas práticas também têm impacto positivo no marketing ambiental das empresas, fortalecendo sua imagem e compromisso com a sustentabilidade.

Para as empresas, adotar boas práticas na gestão de resíduos oferece uma série de benefícios financeiros, operacionais e institucionais (Stephanou, 2009). No aspecto financeiro, a redução de custos com a destinação de resíduos, a compra de matérias-primas, a manutenção de equipamentos e a contratação de pessoal são pontos positivos significativos. Operacionalmente, a gestão eficiente dos resíduos melhora a organização e a eficiência nas obras, promove um ambiente de trabalho mais limpo e seguro, e aumenta a produtividade das equipes. Do ponto de vista institucional, a adoção de boas práticas de gestão contribui para o cumprimento das metas de sustentabilidade corporativa, como o conceito de "Aterro Zero", e pode resultar em certificações e reconhecimentos no mercado, o que fortalece a reputação da empresa e aumenta o valor da sua marca. Dessa forma, a gestão de resíduos não é apenas uma responsabilidade ambiental, mas também um importante diferencial competitivo para as empresas do setor da construção civil.

Fluxograma 2 - Beneficiamento de resíduos.



Fonte: Adaptado de Vasconcelos *et al.* (2016); Giglio *et al.* (2009), adaptado.

3.2 RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

3.2.1 Classificação

Os resíduos gerados pela construção civil podem ter diversas características, sendo essencial classificá-los para garantir o encaminhamento correto de cada tipo. A gestão adequada desses resíduos contribui para a redução de impactos ambientais e para a otimização do reaproveitamento de materiais, promovendo práticas sustentáveis no setor.

Existem duas classificações oficiais para esses resíduos. A primeira, definida pela Resolução CONAMA nº 307/2002, é voltada especificamente para os resíduos da construção civil. Essa norma estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão desses resíduos, classificando-os em quatro categorias, conforme o quadro 2.

Quadro 2 - CONAMA nº 307.

Classe	Definição	Exemplos
A	São os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, sendo divididos em três grupos: a, b e c.	a) De construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura inclusive solos provenientes de terraplanagem; b) De construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos, argamassa e concreto; c) De processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto produzidas nos canteiros de obras.
B	São os resíduos recicláveis para outras destinações.	Plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias, gesso e etc
C	São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação.	Isopor.
D	São resíduos perigosos oriundos do processo de construção e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.	Tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clinicas radiológicas, instalações industriais e outros.

Fonte: Autoria própria (2025).

A segunda classificação relevante é a da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), conforme a NBR 10004:2004, que estabelece uma categorização geral para todos os resíduos sólidos, dividindo-os em resíduos Classe I (Perigosos) e resíduos Classe II (Não Perigosos). Estes últimos são subdivididos em:

Classe II A (Não Inertes): resíduos que podem ter propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade, como restos de alimentos e resíduos orgânicos;

Classe II B (Inertes): resíduos que não sofrem transformações físicas, químicas ou biológicas significativas e não solubilizam elementos que comprometam a potabilidade da água, como concretos, entulhos e metais.

De acordo com Cabral e Moreira (2011), ao se basear na NBR 10004:2004, “normalmente, os resíduos da construção cívil são classificados na classe ll B”.

Dessa forma, materiais como ferros, aços e entulhos se enquadram nessa categoria.

A importância da classificação adequada desses resíduos é destacada por John (2000), que afirma que "a gestão eficiente dos resíduos da construção civil depende diretamente da sua correta separação na origem, permitindo maior aproveitamento dos materiais e menor impacto ambiental". Além disso, segundo Silva e Sampaio (2013), "a reutilização de resíduos da construção pode representar uma economia significativa de recursos naturais e uma redução nos custos de produção".

Portanto, a classificação da Resolução CONAMA nº 307/2002 é mais adequada para este estudo, pois é exclusiva para os resíduos da construção civil e possibilita uma gestão mais direcionada, promovendo a reciclagem e o reaproveitamento de materiais sempre que possível. Dessa maneira, o setor da construção civil pode minimizar seus impactos ambientais e contribuir para a sustentabilidade urbana.

3.2.2 Geração e gerenciamento de resíduos sólidos da construção civil

O crescimento da construção civil foi acompanhado por uma evolução significativa em suas técnicas, materiais e escala de atuação (Agopyan; John, 2011). Porém, esse aumento na atividade construtiva também resultou em um grande volume de resíduos sólidos, que passaram a ser um desafio ambiental crescente.

A destinação correta dos resíduos provenientes da construção civil é crucial para a manutenção de um meio ambiente saudável e para a qualidade de vida das populações (Junior, 2024). A disposição inadequada desses resíduos pode causar sérios problemas ambientais, como a poluição do solo e das águas (Oliveira, 2020). Neste contexto, os aterros sanitários desempenham um papel fundamental, não apenas no descarte, mas também no tratamento adequado do material depositado. Entre os métodos utilizados para o tratamento dos resíduos sólidos urbanos (RSU), destaca-se a digestão anaeróbica e aeróbica, além do controle dos fluidos gerados por esses processos (Oliveira, 2023).

No Brasil, a gestão de resíduos tem uma base legal robusta, iniciada com a Lei nº 6.938, de 1981, que institui a Política Nacional do Meio Ambiente. Com o crescimento contínuo da construção civil e os impactos ambientais que essa atividade gera, a Lei nº 12.305 de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, trouxe novos avanços. A Resolução nº 307, de 2002, do Conama, complementa essa legislação e define diretrizes para a gestão de resíduos da construção civil, determinando procedimentos para a correta gestão, incluindo a segregação e a destinação dos resíduos.

Os resíduos da construção civil são originados de diversas atividades, como construções, reformas, reparos e demolições (De Paula Haubrick; Gonçalves, 2020). Eles podem ser subdivididos em três categorias principais: resíduos da construção e demolição (RCD), resíduos da construção civil (RCC) e resíduos sólidos da construção civil (RSCC). Independentemente da classificação adotada, a definição geral desses resíduos é clara. Segundo a Resolução CONAMA nº 307/2002, os resíduos da construção civil incluem materiais como tijolos, blocos cerâmicos, concreto, solos, rochas, entre outros. Esses materiais, muitas vezes chamados de entulho, são comuns nos canteiros de obras e exigem um gerenciamento adequado para minimizar seus impactos ambientais.

A superprodução de materiais, como a preparação excessiva de argamassa ou gesso, e o erro de manuseio de materiais também contribuem significativamente para o aumento dos resíduos. Isso ocorre quando materiais como tijolos, pisos e blocos são danificados durante o processo de construção, ou quando se utiliza materiais com vida útil reduzida ou de baixa qualidade. Esses fatores são algumas das principais causas da geração de resíduos, conforme destaca Lima (2001).

Em um país como o Brasil, onde o crescimento urbano é acelerado e a construção civil desempenha um papel central na economia, a gestão adequada dos resíduos é crucial para minimizar os impactos ambientais negativos e para promover a sustentabilidade no setor.

Por fim, a implementação de políticas públicas, aliada a práticas eficientes de gestão e ao cumprimento das normas, é fundamental para reduzir o impacto dos resíduos da construção civil. Assim, o desafio não é apenas garantir o descarte adequado, mas também fomentar a reciclagem e a reutilização dos materiais, promovendo uma construção mais sustentável e consciente dos limites do meio ambiente.

3.2.3 Reciclagem de resíduos na construção civil

A prática de reciclagem do concreto tem suas origens na Segunda Guerra Mundial, quando muitos países, principalmente na Europa, estavam devastados e enfrentavam uma necessidade urgente de reconstrução, mas com recursos limitados (Paim; Tiepo, [s.d.]). Para superar esse desafio, muitos desses países começaram a reutilizar os materiais de concreto provenientes dos escombros causados pelos bombardeios, aproveitando o que já estava disponível para as obras de reconstrução. Com o tempo, a reciclagem de concreto se expandiu e passou a ser regulamentada, com o desenvolvimento de processos que melhoraram a qualidade dos materiais reciclados. Nas décadas seguintes, essa prática se consolidou em diversas partes do mundo, à medida que novos estudos e inovações foram sendo incorporados. A reciclagem do concreto se transformou em uma estratégia importante para reduzir os impactos ambientais causados pelo descarte inadequado de materiais de construção e pela extração excessiva de recursos naturais.

Segundo Almeida (2016), na Europa, países como Alemanha e Holanda se destacaram como pioneiros, implementando regulamentações e políticas voltadas para a reciclagem de resíduos da construção, incluindo o concreto. Em 1994, a União Europeia introduziu a Diretiva 89/106/EEC, estabelecendo normas para o uso de materiais reciclados na construção civil. Desde então, diversos processos de reciclagem de concreto foram aprimorados, tornando-se uma prática comum na construção de novos edifícios, rodovias e outras infraestruturas. No Japão, a reciclagem de concreto alcançou um nível avançado, com o país investindo

significativamente em tecnologias de processamento de resíduos para garantir a qualidade dos agregados reciclados e sua aplicação em concreto de alta resistência. O conceito de concreto totalmente reciclável, no qual todos os materiais reciclados são reutilizados na produção de novos concretos, está sendo explorado para reduzir a necessidade de materiais virgens e os impactos ambientais da produção convencional de concreto.

No Brasil, a prática de reciclagem de concreto começou a se fortalecer na década de 2000, impulsionada pela crescente conscientização sobre os problemas ambientais e a necessidade de soluções sustentáveis para a gestão de resíduos. Dados da Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil (ABRECON) indicam que, anualmente, cerca de 50 milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição são gerados no Brasil, uma parte significativa composta por concreto e materiais cerâmicos. No entanto, a taxa de reciclagem de RCD no país ainda é muito baixa, com menos de 5% dos resíduos gerados sendo efetivamente reciclados e reaproveitados (Cabral, 2007). Apesar disso, algumas cidades brasileiras, como São Paulo, Rio de Janeiro e Salvador, já estão adotando práticas de reciclagem de concreto, com empresas especializadas investindo em tecnologias para processar os resíduos e produzir agregados reciclados. A reciclagem de concreto no Brasil não é apenas uma questão ambiental, mas também uma oportunidade econômica, pois permite a redução de custos com a compra de agregados naturais e contribui para diminuir o impacto ambiental da extração de materiais da natureza.

Em Salvador, a reciclagem de concreto tem ganhado destaque, especialmente pelo trabalho da LIMPURB, que gerencia a coleta e destinação adequada dos resíduos da construção civil. A cidade tem adotado políticas públicas para incentivar a reciclagem e reutilização dos materiais, principalmente em grandes projetos de infraestrutura e construção civil. Apesar dos avanços, o Brasil ainda enfrenta grandes desafios em relação à reciclagem de concreto, como a falta de regulamentações mais específicas, a resistência de muitos profissionais da construção civil em adotar práticas sustentáveis e a limitação de tecnologias adequadas para a produção de concretos de alta qualidade a partir de resíduos reciclados. A resistência ao uso de materiais reciclados é, em parte, devido à crença equivocada de que o concreto reciclado possui desempenho inferior ao concreto convencional, o que não é necessariamente verdade. Estudos demonstram que

concretos produzidos com agregados reciclados de alta qualidade podem ter desempenho superior ao concreto convencional, especialmente quando provenientes de resíduos de concreto de alta resistência.

Embora a reciclagem de concreto ainda enfrente obstáculos, a tendência é que ela continue a se expandir no Brasil, à medida que novas tecnologias de processamento de resíduos se tornem mais acessíveis e regulamentações mais rigorosas sejam implementadas, incentivando a adoção de práticas sustentáveis em todas as fases da construção civil. A reciclagem de concreto, iniciada durante a Segunda Guerra Mundial, passou por um longo processo de evolução e hoje é reconhecida como uma solução sustentável e economicamente vantajosa, sendo cada vez mais adotada em diversos países. No Brasil, a prática está em desenvolvimento, com um grande potencial de crescimento, considerando os impactos ambientais e econômicos associados ao descarte de resíduos da construção civil. Investir na reciclagem de concreto e aprimorar as tecnologias de reaproveitamento será fundamental para garantir um futuro mais sustentável para a construção civil brasileira.

A reciclagem do concreto não se limita apenas à redução do impacto ambiental, mas também oferece várias oportunidades econômicas e técnicas. A reutilização mais comum do concreto reciclado é o reaproveitamento de agregados, obtidos pela trituração dos resíduos. Esses agregados podem ser usados para produzir concreto reciclado em diversas aplicações, como pavimentação de rodovias, calçadas e ruas, ou em concreto não estrutural, para áreas que não exigem alta resistência, como fundações e pisos de baixo tráfego. Quando os agregados reciclados são de boa qualidade, é possível utilizá-los também em concreto estrutural, substituindo parcialmente os agregados naturais, como areia e brita.

Além disso, os resíduos de concreto reciclado podem ser usados como substitutos parciais de agregados naturais, reduzindo os custos com a compra de matérias-primas e diminuindo os impactos ambientais da mineração de recursos naturais. Em paisagismo e jardinagem, o concreto reciclado é transformado em pedras decorativas, revestimentos para jardins ou até mesmo em caminhos e calçadas externas, criando um material estético de baixo custo. Em algumas regiões, o concreto reciclado é utilizado para fabricar tijolos para pequenas

construções, como muros e cercas, ajudando a reduzir a quantidade de resíduos gerados.

A reutilização do concreto reciclado traz diversas vantagens, como a redução do impacto ambiental ao diminuir o volume de resíduos destinados a aterros sanitários, economizando recursos naturais ao reduzir a extração de agregados, e reduzindo os custos com a compra de materiais de construção. Além disso, a reciclagem do concreto oferece oportunidades para o desenvolvimento de novos materiais de construção, como blocos e tijolos ecológicos, mais acessíveis e menos prejudiciais ao meio ambiente. Em conclusão, a reciclagem de concreto e sua reutilização são práticas essenciais para a sustentabilidade na construção civil. A constante inovação e pesquisa sobre os melhores métodos e usos para o concreto reciclado continuarão a transformar essa prática, ajudando a reduzir a pegada ambiental do setor e criando soluções mais econômicas e sustentáveis.

3.2.4 Situação de Salvador

O gerenciamento de resíduos sólidos urbanos (RSU) em Salvador enfrenta desafios significativos, principalmente devido ao alto volume de resíduos gerados, à baixa taxa de reciclagem e à ausência de um Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS). A cidade gera cerca de 4,6 mil toneladas diárias de resíduos, mas recicla menos de 1% desse total (AZEVEDO, 2004). A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010, exige que os municípios elaborem seus PMGIRS como condição para acessarem recursos federais destinados à modernização da gestão de resíduos. No entanto, Salvador ainda não possui um plano atualizado, dificultando a implementação de soluções sustentáveis (SOUSA, 2018).

Atualmente, a destinação final dos resíduos ocorre majoritariamente no Aterro Sanitário Metropolitano, localizado na rodovia CIA/Aeroporto, que opera há mais de 15 anos e já atingiu 68% de sua capacidade (Azevedo, 2004). A coleta de resíduos na cidade é realizada pela Empresa de Limpeza Urbana de Salvador (LIMPURB), que dispõe de 90 caminhões e 157 roteiros de coleta. Apesar da existência de 200 Pontos de Entrega Voluntária (PEVs) e 17 cooperativas de catadores cadastradas, a reciclagem permanece em níveis extremamente baixos (Sousa, 2018).

Historicamente, Salvador já contou com iniciativas voltadas para a reciclagem, como a Central de Badameiros (CENBA), que processava materiais recicláveis. No entanto, o fechamento da CENBA em 2001 resultou na queda da taxa de reciclagem e no aumento do desperdício de materiais reaproveitáveis (Azevedo, 2004). A maior parte dos resíduos recicláveis continua sendo descartada junto ao lixo comum, contribuindo para o acúmulo no aterro sanitário e para a ineficiência da gestão de resíduos sólidos no município.

O modelo de gestão de Salvador ainda se baseia na tecnologia de "fim-de-tubo", priorizando a destinação final dos resíduos sem estratégias eficazes para a redução na fonte. De acordo com Azevedo (2004), essa abordagem é ineficiente, pois não respeita a hierarquia da gestão de resíduos, que deve priorizar prevenção, reutilização e reciclagem antes da disposição final.

Diante desse cenário, algumas alternativas para minimizar a geração de resíduos em Salvador incluem a ampliação da coleta seletiva, com a distribuição estratégica dos PEVs e o fortalecimento das cooperativas de reciclagem (Sousa, 2018).

Outro grande desafio para a gestão de resíduos sólidos em Salvador é a administração dos resíduos da construção civil (RCC), cuja destinação inadequada gera impactos ambientais severos. A Resolução CONAMA nº 307/2002 estabelece diretrizes para o gerenciamento desses resíduos, mas Salvador ainda enfrenta dificuldades na sua implementação (Fontes, 2008). A ausência de regulamentação clara contribui para a deposição irregular de entulhos em terrenos baldios, áreas de encosta e margens de rios, agravando os problemas ambientais e urbanos.

Além disso, a baixa taxa de reciclagem do entulho da construção civil compromete o reaproveitamento desses materiais, que poderiam ser utilizados na fabricação de novos produtos, pavimentação de vias e de modo estrutural, reduzindo impactos ambientais e custos da construção civil (Fontes, 2008). Para solucionar esse problema, Fontes (2008) sugere a criação de um Plano Integrado de Gerenciamento de RCC, além da ampliação das áreas destinadas ao recebimento e processamento desses resíduos. Parcerias entre o setor público e a iniciativa privada também podem ser estabelecidas para incentivar a reutilização dos materiais e promover a sustentabilidade no setor da construção civil.

A gestão dos resíduos sólidos em Salvador exige reformas estruturais e operacionais para garantir a sustentabilidade da cidade. A falta de um PMGIRS

atualizado, a baixa taxa de reciclagem e o descarte irregular de resíduos da construção civil são desafios urgentes que precisam ser enfrentados. Para isso, é essencial investir na ampliação da coleta seletiva, no fortalecimento das cooperativas de reciclagem e na regulamentação efetiva dos resíduos da construção civil.

Experiências bem-sucedidas em outras cidades demonstram que políticas públicas bem estruturadas são fundamentais para um modelo de gestão de resíduos mais eficiente. Com um planejamento integrado e investimentos em infraestrutura, Salvador pode avançar na construção de um sistema sustentável de gestão de resíduos.

3.3 CONCRETO

3.3.1 Cimento Portland

O cimento é um material inorgânico de baixa granulometria que, quando misturado com água, forma uma pasta. Por sua vez, endurece em virtude das reações e processos de hidratação e mantém sua resistência e estabilidade. O quadro 3 mostra diferentes tipos de cimento.

Quadro 3 - Cimento portland.

Cimento Portland comum	CP I > Sem adição CP I-S > Com adição	A norma brasileira exige que a sigla seja acompanhada do número 25, 32 ou 40, representando a resistência em MPa aos 28 dias de idade.
Cimento Portland II	CP II-E > Com escória CP II-Z > Com pozolana CP II-F > Com filer	Cimento composto e mais resistente ao ataque de sulfatos. E, além de ser indicado para praticamente todas as fases de uma obra, o seu custo e disponibilidade o torna muito popular.
Cimento Portland de alto forno	CP III	Contém a adição de 35 a 70% de escória, e por isso apresenta maior durabilidade.
Cimento Portland pozolânico	CP IV	Apresenta de 15 a 50% de material pozolânico em sua composição. Baixo calor de hidratação, baixa porosidade e gera um produto mais resistente a longo prazo quando comparado com cimentos comuns.
Cimento Portland de alta resistência inicial	CP V-ARI	Não apresenta adições, porém apresenta uma dosagem diferente na produção do clínquer. A vantagem deste produto é a velocidade em que a resistência máxima à compressão é alcançada.

Fonte: Castro (2021), adaptado.

3.3.2 Agregados

De acordo com Neville (2015), os agregados representam pelo menos 75% do volume do concreto, o que destaca a importância de sua qualidade. Os agregados podem afetar a resistência do concreto, uma vez que, se possuírem características inadequadas, não serão capazes de proporcionar um concreto de alta resistência (Neville, 2015). Além disso, suas propriedades influenciam diretamente a durabilidade e o desempenho estrutural do material. Originalmente considerados materiais inativos e usados principalmente por motivos econômicos, os agregados são, atualmente, reconhecidos como componentes fundamentais no

concreto, formando uma unidade coesa com a pasta de cimento, de forma semelhante à alvenaria (BS EN 12620:2002). Na realidade, os agregados não são completamente inertes, pois suas propriedades físicas, térmicas e, em certos casos, químicas afetam substancialmente o desempenho do concreto. Embora sejam mais acessíveis que o cimento, o principal benefício do uso dos agregados não é apenas a redução de custos, mas também os ganhos técnicos que oferecem ao concreto, como maior estabilidade volumétrica e resistência, superando a pasta de cimento hidratada em termos de durabilidade (ACI 211.1).

A classificação dos agregados os divide em miúdos (com diâmetro inferior a 4 mm, geralmente conhecidos como areia) e graúdos (com diâmetro mínimo de 5 mm). Nos Estados Unidos, a separação é feita conforme a peneira ASTM N.º 4, com abertura de 4,75 mm (ACI 211.1).

3.4 AGREGADOS RECICLADOS

Conforme a NBR 15116:2021, o agregado reciclado pode ser definido como material granular, que passou pelo processo de beneficiamento de resíduos, sendo tecnicamente apto para uso em obras de engenharia.

Transformar resíduos de construção civil (RCC) em agregados reciclados é uma opção que está sendo frequentemente atrelada a intenções ambientais, sociais e econômicas (Senger; Senger, 2020). No entanto, sua aplicação ainda enfrenta desafios técnicos, principalmente devido à elevada heterogeneidade dos resíduos de construção e demolição (RCD) (Costa *et al.*, 2016).

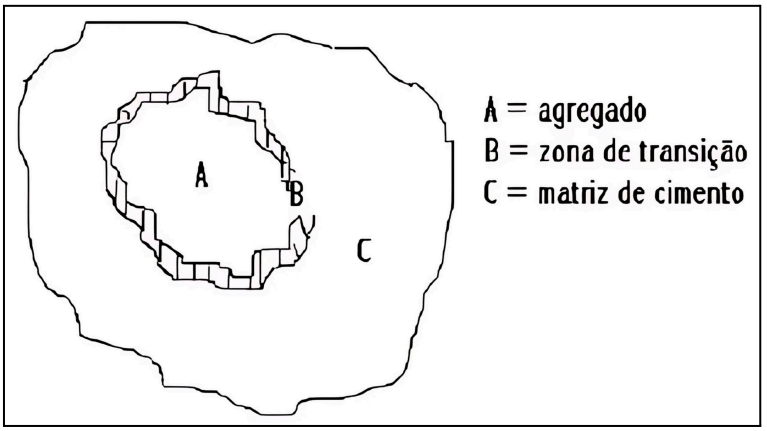
Nesse quesito, Butler (2003) afirma que os resíduos de concreto apresentam vantagens em relação a outros resíduos para fins de reciclagem, pois se trata de um material com características mais controladas e homogêneas.

A preocupação com a qualidade dos agregados, pode ser justificada pela proporção que esses materiais ocupam em compósitos da construção civil, como o concreto, o qual tem cerca de 75% da massa composta por agregados (Neville; Brook, 2013, *apud* Novas, 2020).

Além disso, é necessário analisar o concreto ao nível microscópico para entender a influência do agregado, especialmente da fração graúda. Sob uma visão macroscópica, é possível observar a pasta de cimento endurecida e as partículas de

agregados. Contudo, ao nível microscópico, conforme ilustrado na figura 1, identifica-se outra fase: a zona de transição, que geralmente é mais fraca do que as outras fases e exerce uma influência significativa nas propriedades do composto.

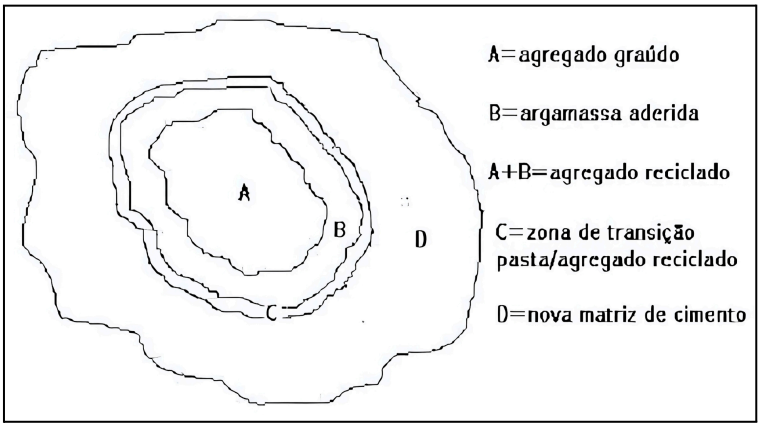
Figura 1 - Microestrutura do concreto com agregados naturais.



Fonte: Buttler (2003), adaptado.

Em relação à microestrutura do concreto com agregado graúdo reciclado, figura 2, nota-se a presença da argamassa aderida no agregado graúdo e atuando sobre a fase de transição, interferindo nas propriedades do concreto (Buttler, 2003).

Figura 2 - Microestrutura do concreto com agregados reciclados.



Fonte: Buttler (2003), adaptado.

Entre as propriedades mais importantes de serem analisadas para a utilização do agregado reciclado em concretos estão a composição granulométrica; o material pulverulento; a forma e a textura; a absorção de água; as impurezas; a

trabalhabilidade; a massa Específica e unitária; e a influência dos agregados na resistência à compressão do concreto produzido (Carvalho *et al*., 2018).

Atualmente, a NBR 15116, regulariza a utilização de agregados reciclados em argamassas e concretos, definindo diversos parâmetros mínimos para aplicabilidade dos agregados. A versão anterior não permitia a utilização dos agregados reciclados em concretos estruturais, entretanto, em 2020, a norma referida foi atualizada apresentando diversas mudanças significativas como:

- A classificação dos agregados reciclados em três subclasses, sendo agregado reciclado de concreto (ARCO), agregado reciclado cimentício (ARCI) e agregado reciclado misto (ARM), as quais possuem requisitos e recomendações específicas;
- Cálculo da quantidade de água necessária para pré-molhagem do agregado reciclado;
- Critérios de substituição parcial dos agregados reciclados por agregados naturais, apresentando o teor de substituição de 20% da massa de agregados totais e limitando a utilização a concretos de classe de agressividade I e II da NBR 6118:2014;
- Quantidade de materiais indesejáveis dos agregados reciclados graúdos por análise visual e por lupa para agregados reciclados miúdos.

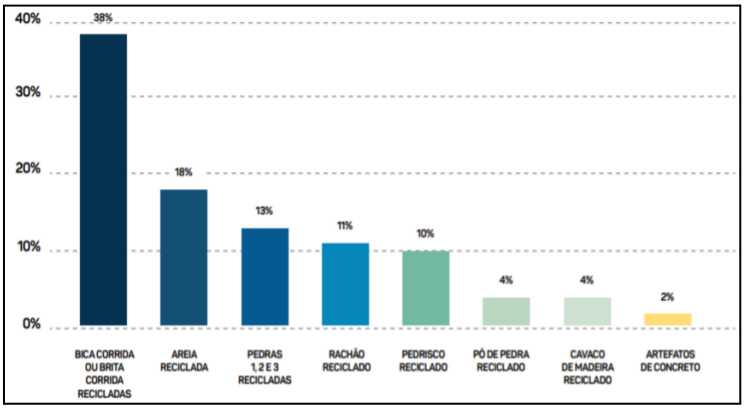
3.4.1 Composição granulométrica

Os agregados reciclados tendem a apresentar uma composição granulométrica mais grossa em relação aos agregados naturais, resultando em um módulo de finura um pouco superior (Leite, 2001). No entanto, essa diferença na granulometria dos resíduos pode variar conforme as características do concreto original e o tipo de sistema de britagem utilizado (Carvalho *et al*., 2018). Ainda se pode conferir a esses agregados, uma granulometria mais contínua (Malta, 2012 *apud* Novas, 2020), resultando em boa trabalhabilidade e tendência a menor segregação (Andolfato, 2002).

Segundo o Planares (Brasil, 2020), o material que as usinas recicladoras mais estão produzindo é a bica corrida, como mostra o gráfico 1. O dado expressa a cultura brasileira em relação aos agregados reciclados, representada pelas usinas

que optam pela produção desse material em virtude da maior praticidade e redução de etapas levando em consideração que a brita corrida não passa pelo beneficiamento adequado, apresentando grande variabilidade em diversas de suas propriedades, como a composição granulométrica, o que limita sua aceitação no mercado da construção civil (Silva; Miranda; Santos, 2015).

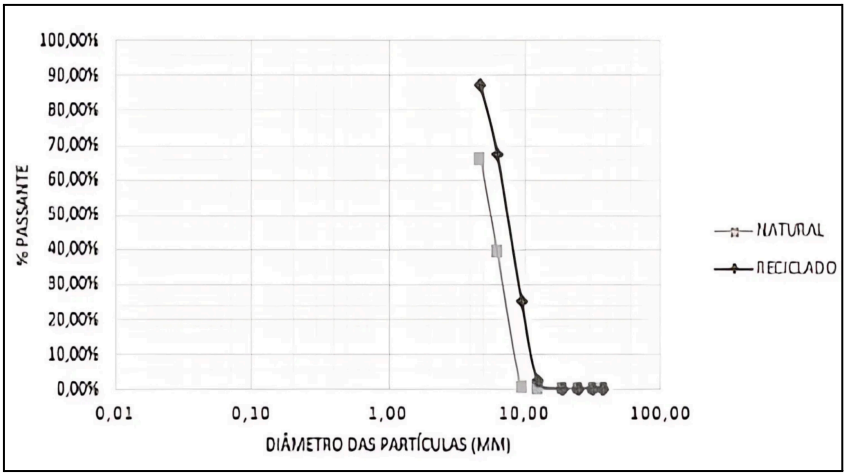
Gráfico 1 - Materiais produzidos pelas unidades de reciclagem de RCC no Brasil, 2015.



Fonte: Brasil (2020).

Os gráficos 2 e 3, mostram os resultados da análise granulométrica feita por Carvalho *et al*. (2018). Vale ressaltar que o autor utilizou corpos de prova de concreto na parte experimental da pesquisa, que apresenta baixa variabilidade em sua composição, quando comparado ao RCD. A partir da análise da curva granulométrica da fração graúda, obtida pelo autor, percebeu-se alta declividade, representando uniformidade na composição granulométrica do material, como visto no gráfico 2.

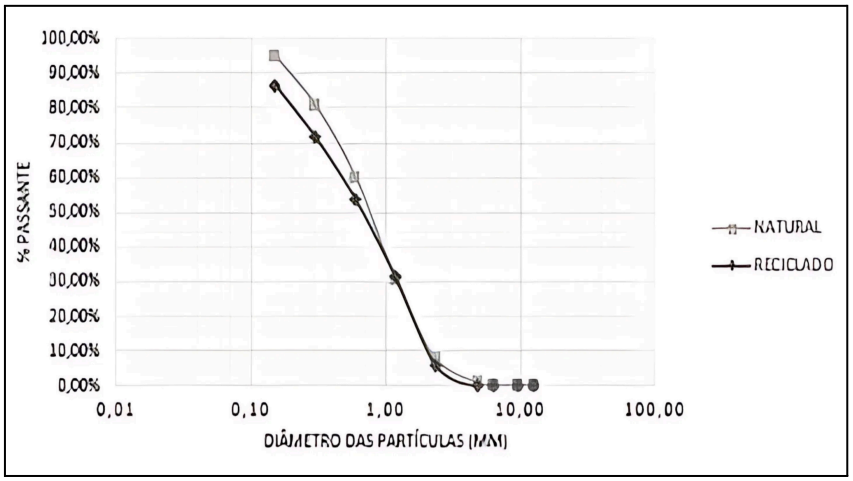
Gráfico 2 - Curva granulométrica do agregado graúdo reciclado.



Fonte: Carvalho *et al.* (2018).

Enquanto a fração miúda apresentou uma distribuição bem graduada, mostrada pela curvatura côncava da curva granulométrica, representado no gráfico 3.

Gráfico 3 - Curva granulométrica do agregado miúdo reciclado.



Fonte: Carvalho *et al.* (2018).

3.4.2 Material pulverulento

Consoante a NBR 7211:2022, os materiais pulverulentos são definidos como finos com dimensões inferiores a 75 µm. Os agregados reciclados, especialmente a fração miúda, apresentam uma quantidade mais elevada de material fino em comparação aos agregados naturais (Frotté *et al*., 2016). Isso se deve à fragilidade e porosidade das argamassas presentes na composição do concreto, que consequentemente, produzem mais finos no processo de britagem (Costa, 2018).

Kruger *et al*. (2020) verificaram, em sua pesquisa, o impacto do teor de material pulverulento (TMP) em argamassas, comparando diferentes dosagens de finos no agregado miúdo reciclado. A partir da análise dos resultados apresentada no quadro 4, observaram-se alterações negativas nas propriedades da argamassa com o aumento da quantidade de material pulverulento, tanto no estado fresco quanto no endurecido, o que, consequentemente, influenciou negativamente a resistência à compressão.

Quadro 4 - Influência do teor de material pulverulento na argamassa.

ESTADO	PROPRIEDADES	TENDÊNCIA COM O AUMENTO DO MATERIAL PULVERULENTO
Fresco	Densidade	Diminuir
	Teor de ar incorporado	Aumentar
	Índice de consistência	Diminuir
Endurecido	Índice de vazios	Aumentar
	Absorção	Aumentar
	Resistência à compressão	Diminuir

Fonte: Kruger *et al.* (2020), adaptado.

Os finos podem atuar no preenchimento dos vazios da areia da argamassa, proporcionando um bom desempenho ao concreto quando utilizados de forma controlada e dentro dos limites estabelecidos pelas normas. No entanto, o excesso dessas partículas pode comprometer as propriedades do concreto, resultando em problemas como fissuração, perda de resistência mecânica e redução da durabilidade, devido ao aumento do consumo de água em misturas com excesso de finos (Veras, 2012).

Os limites vigentes para o TMP dos agregados reciclados são mencionados na NBR 15116:2021 e estipulados pela NBR 7211:2022, quadro 5. Esses parâmetros são diferenciados pela exposição do concreto ao desgaste superficial.

Quadro 5 - Requisitos do teor de material pulverulento para agregados reciclados.

Ensaios		Limite %	Requisito	Método de ensaio
Finos (< 0,0 75 mm)	Teor para concretos protegidos de desgaste superficial	< 12	ABNT NBR 7211	ABNT NBR NM 46
	Teor para concretos submetidos a desgaste superficial	< 10		

Fonte: NBR 15116 (2021), adaptado.

Carvalho (2018), verificou em sua pesquisa um aumento do TMP no agregado graúdo reciclado de 1,6% e 6,1% no agregado miúdo. Salienta-se que a brita utilizada na pesquisa do autor apresentava o diâmetro máximo de 12,5 mm, caracterizando-se como pedrisco e a areia possuía o diâmetro máximo de 4,75 mm,

que a caracterizava como areia grossa. Em sua pesquisa, é perceptível, que os teores de finos obtidos se enquadram dentro dos limites estabelecidos pela NBR 15116, sendo 8,93% e 5,17% as porcentagens encontradas, respectivamente, da areia e brita. Sendo coerente também com a afirmação de Frotté *et al*. (2016), sobre a presença mais significativa de finos na fração miúda do agregado de RCC.

3.4.3 Forma e textura das partículas

A forma e textura assumida pelos agregados reciclados dependem da argamassa aderida ao agregado, do tipo de britador, da forma de beneficiamento e do material de origem escolhido. Dessa forma, os agregados reciclados tendem a formas mais angulares, ocupando um volume maior em relação aos agregados naturais, que possuem uma forma mais arredondada. Por sua vez, a textura dos agregados reciclados é geralmente mais rugosa e porosa que a dos agregados naturais, que possuem superfícies mais lisas (Leite, 2001).

Segundo Silva e Geyer (2018), as partículas angulares e rugosas, tais quais os agregados reciclados, produzem concretos com maiores resistências em comparação a partículas arredondadas e lisas, em virtude da maior aderência desenvolvida entre a pasta de cimento e os agregados. Entretanto, a introdução desse material no concreto resulta em uma mistura mais coesa e consequentemente com menor trabalhabilidade quando contraposto a uma mesma dosagem de concreto com agregados naturais (Leite, 2001).

3.4.4 Trabalhabilidade e absorção de água

Sobral (2000) considera que as características do concreto fresco e endurecido estão inter-relacionadas e devem ser analisadas em conjunto para a produção de um material de alta qualidade. Segundo o autor, a trabalhabilidade é a propriedade mais relevante a ser avaliada no concreto em seu estado plástico, pois engloba diversos fatores essenciais de sua condição fresca. Normativamente, a trabalhabilidade pode ser mensurada através do ensaio de abatimento de cone estabelecido pela NBR 16889:2020.

Como mencionado nos itens 3.4.2 a 3.4.4, diversos fatores podem afetar a trabalhabilidade do concreto com agregados de RCC, tais como a composição

granulométrica, o teor de material pulverulento, a forma e a textura. No entanto, a trabalhabilidade do concreto com agregados reciclados está principalmente associada à maior taxa de absorção desses materiais. Isso ocorre devido à maior porosidade resultante da pasta de cimento aderida ao agregado, o que faz com que os concretos reciclados exijam uma relação água/cimento mais elevada para alcançar a consistência adequada (Novas, 2020). Assim, pode-se concluir que a perda de trabalhabilidade da mistura é proporcional ao teor de substituição dos agregados naturais (Gonçalves, 2001).

Nesse sentido, também pode-se afirmar que o uso do agregado miúdo reciclado resultaria em uma perda maior de trabalhabilidade em comparação à fração graúda, devido à quantidade de argamassa aderida ao agregado em relação ao seu volume total (Amorim, 2008, *apud* Novas, 2020).

Os limites da absorção de água dos agregados reciclados são referenciados pela NBR 15116, que diferencia as taxas conforme a subclasse do material, como pode ser visto no quadro 6.

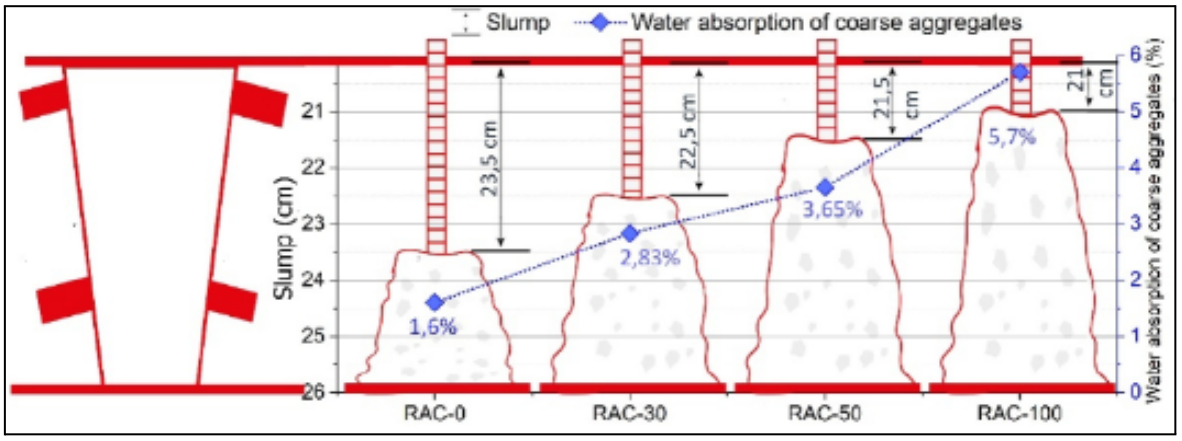
Quadro 6 - Taxa de absorção de água dos agregados reciclados.

Absorção de água	Classe ARCO	< 7	5.3	ABNT NBR 16917 (graúdo)
	Classe ARCI ou ARM	< 12	5.3	ABNT NBR 16916 (miúdo)

Fonte: NBR 15116 (2021), adaptado.

Gerin e Nardin (2020), elaboraram uma representação visual do slump do concreto relacionado a absorção de água dos agregados graúdos, que varia proporcionalmente com o teor de substituição do agregado graúdo. Foi adotado na dosagem referencial do concreto o traço 1:2,42:2,58 X=0,68. Percebeu-se que o abatimento reduziu proporcionalmente ao aumentar a porcentagem de agregado graúdo reciclado, como mostra a figura 3.

Figura 3 - Absorção média de água e abatimento em diferentes taxas de substituição de Agregados reciclados de concreto (RCA).



Fonte: Gerin; Nardin (2018).

Legenda: RCA-0: Dosagem referencial; RCA-30: Dosagem com 30% de substituição do agregado graúdo natural por reciclado; RCA-50: Dosagem com 50% de substituição do agregado graúdo natural por reciclado; RAC-100: RCA-30: Dosagem com 100% de substituição do agregado graúdo natural por reciclado.

3.4.5 Impurezas

As impurezas podem ser definidas como materiais reativos, ou quaisquer outros que comprometam a qualidade do concreto ou argamassas (Lima, 1999, *apud* Leite, 2001). Dentre os principais contaminantes estão as impurezas de origem orgânica, torrões de argila, material pulverulento, minerais álcali-reativos, resíduos industriais e impurezas salinas, tais como cloretos, sulfatos e sulfetos (Neto, 2011, *apud* Marcelino, 2015). No subtópico 3.4.3, o TMP é aprofundado por se tratar da contaminação mais comum e abordada em bibliografias referentes aos agregados reciclados.

É importante destacar que as impurezas presentes nos agregados reciclados dependem muito do processo de beneficiamento e das características de origem do resíduo usado para reciclagem (Leite, 2001). A NBR 15116:2021 específica estabelece a utilização apenas da classe A de resíduos da construção civil, minando a variabilidade da origem do resíduo a ser reciclado e diminuindo consequentemente a presença de impurezas no agregado reciclado. Outra recomendação importante da norma vigente é a delimitação da classe do agregado que deverá ser utilizado conforme a finalidade do concreto. Para fins estruturais, é recomendada a classe de agregados reciclados de concreto (ARC), enquanto para fins não estruturais são

permitidas as classes de agregados cimentícios (ARCI) e agregados reciclados mistos (ARM).

3.4.6 Massa específica e unitária

Segundo Buttler (2003), a massa específica do agregado influência diretamente na resistência do concreto, que é proporcional a massa específica do concreto.

Carvalho *et al.* (2018), discorre que, geralmente, a massa específica e unitária dos agregados reciclados são menores que a dos agregados naturais. A redução da massa específica desses agregados ocorre devido à presença da argamassa aderida, que consequentemente torna o agregado menos denso. No caso da massa unitária, a densidade inferior, a alta porosidade e a forma irregular das partículas colaboram para a redução da propriedade. O autor realizou a comparação entre as massas dos agregados convencionais e reciclado empiricamente e elencou-as, como pode ser verificado na tabela 1.

Tabela 1 - Massa Específica dos agregados reciclados.

Agregado	ø máximo (mm)	Massa Específica			Massa Unitária	
		Saturado Superfície Seca	Seca	Aparente	Solta (Kg/dm³)	Compactada (Kg/dm³)
		g/cm³				
Pedrisco Natural	9,5	2,64	2,58	2,75	0,96	1,01
Pedrisco Reciclado	12,5	2,39	2,28	2,58	0,92	0,95
Areia Natural	4,75	2,31	2,39	2,26	1,02	-
Areia Reciclada	2,36	0,69	0,67	0,63	1,01	-

Fonte: Carvalho *et al.* (2018), adaptada.

3.4.7 Resistência do concreto produzido com agregados reciclados

Segundo Gonçalves (2001), a resistência à compressão não é muito influenciada pela presença dos agregados reciclados, diferindo do módulo de elasticidade que costuma ter uma diminuição considerável. O autor ainda apontou em seu estudo, a possibilidade da resistência apresentar valores maiores no concreto com agregados graúdos reciclados (AGR).

A resistência à compressão é um dos principais parâmetros utilizados para avaliar a viabilidade técnica da reinserção de materiais reciclados no concreto. Silva, Chaves e Lima (2019), em sua revisão bibliográfica baseada em diversas pesquisas sobre a resistência do concreto produzido com agregados reciclados (Poon e Kou, 2010; Limbachiya *et al*., 2012; Pandurangan *et al*., 2016), identificaram que a substituição de até 30% do agregado graúdo por material reciclado é o percentual ideal para garantir uma variação mínima na resistência à compressão do concreto reciclado.

Etxeberria *et al*. (2007) e Poon e Kou (2010) citado por Silva, Chaves e Lima (2019), atestam que o concreto reciclado produzido em seus estudos apresentou melhor desempenho no que diz à resistência à tração. Os autores atribuem essa vantagem à capacidade de absorção de água dos restos de argamassa presentes no ARC e ao seu aspecto rugoso, características que tendem a melhorar as zonas de transição interfaciais entre os agregados e a nova argamassa.

O quadro 7, lista os resultados obtidos a partir da revisão bibliográfica de alguns autores relevantes para a pesquisa (Leite, 2001; Frotté *et al*., 2017; Carvalho *et al*., 2018; Menezes *et al*., 2023; Silva; Chaves; Lima, 2019; Miranda *et al*., 2023).

Quadro 7 - Resistência à compressão e à tração de concretos feitos com agregados reciclados.

PESQUISA	TEOR DE SUBSTITUIÇÃO (%)	SUBCLASSE DO AGREGADO USADO, SEGUNDO A NBR 15116	RESISTÊNCIA MÉDIA DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPA)	RESISTÊNCIA MÉDIA DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPA)
(Leite, 2001)	0 - REF	ARM	19,6	-
	50 - AGR / 50 - AMR		21,1	-
	100 - AGR		19,2	-
	100 - AMR		21,6	-
(Froté et al. 2017)	0 - REF	ARM	28,8	2,8
	25 - AMR		22,4	2,4
	50 - AMR		25,1	2,6
(Carvalho et al., 2018)	0 - REF	ARC	46	-
	20 - AGR		41	-
	40 - AGR		40,5	-
	60 - AGR		43,3	-
	80 - AGR		38,5	-
	100 - AGR		37,7	-
	0 - REF		46	-
	20 - AMR		41,8	-
	40 - AMR		41,3	-
	60 - AMR		41	-
	80 - AMR		40,2	-
	100 - AMR		38,2	-
(Menezes; Sales, 2019)	0 - REF	ARC	43,11	4,18
	30 - AGR		28,49	2,18
	50 - AGR		35,89	2,7
(Silva; Chaves; Lima, 2019)	0 - REF	ARC	35,9	2,8
	30 - AGR		35,5	2,9
	100 - AGR		30,4	3,5
(Miranda et al., 2023)	0 - REF	ARC	31,23	-
	25 - AGR		18,77	-
	50 - AGR		29,35	-
	100 - AGR		18,79	-

Fonte: Leite (2001); Frotté *et al.* (2017); Carvalho *et al.* (2018); Menezes *et al.* (2023); Silva; Chaves; Lima (2019); Miranda *et al.* (2023), adaptada.

Legenda: REF - Traço referencial; AGR - Agregado graúdo reciclado; AMR - Agregado miúdo reciclado.

4 RESÍDUOS SÓLIDOS DE LABORATÓRIOS DE CONTROLE TECNOLÓGICO DE CONCRETO

Os laboratórios de controle tecnológico do concreto surgiram antes das normatizações que atualmente asseguram fatores como: a segurança, a qualidade, o desempenho e a sustentabilidade dos produtos, serviços e processos da construção civil no Brasil. Os laboratórios privados de controle tecnológico do concreto começaram a surgir com a ascensão do concreto armado no século XX, marcada pela criação da primeira norma técnica para cálculo e execução de obras de concreto armado, publicada em 1940 (Pedroso, 2023). Naquele período, uma das principais motivações dessa iniciativa era fazer com que os métodos de dosagem desenvolvidos pelas pesquisas nas universidades fossem entendidos e utilizados pelos mestres de obras e engenheiros menos habituados (Vasconcelos, 1992 *apud* Pedroso, 2023).

Atualmente, com o maior desenvolvimento tecnológico civil, a função principal dos laboratórios é conhecer o comportamento do concreto como material estrutural, quantificando precisamente suas propriedades, com a finalidade de garantir a confiabilidade das estruturas (Magalhães; Real; Filho, 2018).

No contexto dos resíduos da construção civil, os respectivos laboratórios são responsáveis pela geração de resíduos “limpos”. A reciclagem de RCC já é amplamente estudada, como foi notado no subtópico 3.5.9. Apesar disso, a reciclagem dos resíduos de laboratório ainda é pouco comum devido ao pequeno volume desses depósitos quando comparados a entulhos. Logo, esses resíduos ainda exigem grande espaço físico e altos investimentos para uma destinação ambientalmente controlada (Senger; Senger, 2020).

Considerando que, atualmente, os cursos relacionados à área, a preocupação econômica e o incentivo às construções têm sido promovidos, os resíduos gerados por laboratórios tendem a aumentar gradativamente, vislumbrando-se, assim, as futuras possibilidades de sua utilização como matéria-prima na fabricação de novos produtos (Senger; Senger, 2020).

Os resíduos desses laboratórios têm origem em universidades, em construtoras, em laboratórios localizados em centrais de concreto, em empresas especializadas no controle tecnológico do concreto ou até mesmo no setor industrial da construção civil, como, por exemplo, uma fábrica de pré-moldados (Oliveira,

2021). Entretanto, percebe-se uma quantidade mais significativa em duas categorias: centrais de concreto e empresas especializadas no controle tecnológico, o que é justificado pelos ensaios realizados e pela produção de concreto, que são proporcionais (Candian, 2010; Santos; Ismail, 2022; Queiroz *et al*., 2018).

A maioria dos resíduos sólidos laboratoriais de controle tecnológico de concreto são os corpos de prova (CPs) com dimensões de 10x20cm. Essas amostras cilíndricas ou prismáticas de concreto são responsáveis pelo controle tecnológico do concreto em todos os aspectos necessários.

Santos e Ismail (2022), relatam o descarte de aproximadamente 1440 corpos de prova (15m³), que não foram destinados para qualquer tipo de reutilização. Esse dado mostra como a falta de estratégias para reutilização e reciclagem de materiais pode resultar em desperdício significativo de recursos. Além disso, evidencia a necessidade de práticas mais sustentáveis na gestão de resíduos, especialmente em setores que geram grande volume de descartes, a fim de minimizar impactos ambientais e otimizar o uso de matérias-primas.

É importante destacar, que o volume de CPs gerados nos laboratórios de controle tecnológico são influenciados pela NBR 12655:2022, que ampara o preparo, controle, recebimento e aceitação do concreto de Cimento Portland.

4.1 CORPOS DE PROVAS DE CONCRETO ROMPIDOS

Diante desta temática, surge a necessidade de mensurar a quantidade de resíduos gerados pelos laboratórios de controle tecnológico. Para isso, adotamos os corpos de prova de concreto, com as dimensões de 10x20cm, como objeto de estudo, pois, como visto no item 4, eles representam significativamente o volume de resíduos gerados em laboratório em caráter de sua utilização na maioria dos ensaios necessários para fazer o controle tecnológico do concreto.

Aplicamos um questionário para 7 empresas categorizadas em: laboratórios de controle tecnológico de concreto, concreteiras e outros (construtora que realiza o próprio controle tecnológico do concreto). Sendo dois laboratórios, quatro concreteiras e uma construtora. Objetivou-se no processo de levantamento, a obtenção dos seguintes dados:

- Média mensal de CPs de concreto descartados;

- Representatividade do descarte de CPs de concreto relacionado a categorização empregada às empresas;
- O gerenciamento adotado pelas empresas para destinar os resíduos de CPs;
- Interesse das empresas em reciclar os corpos de prova.

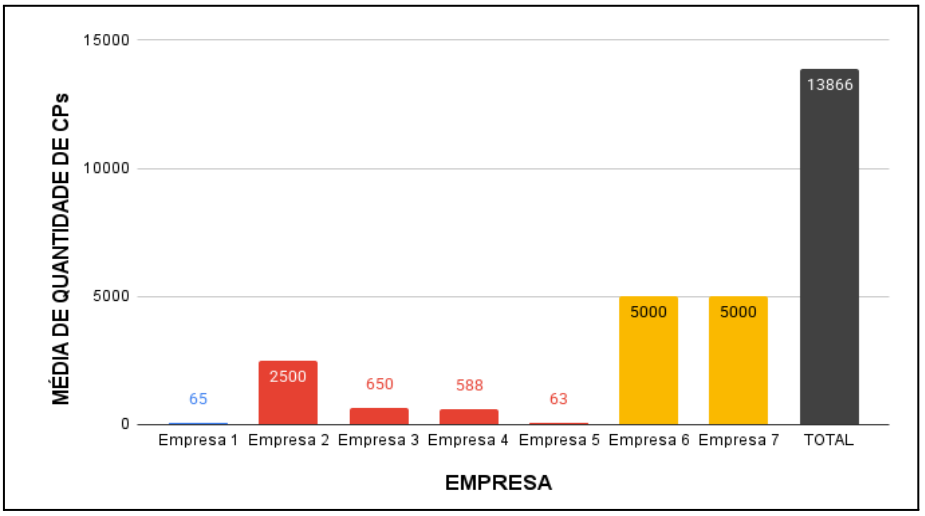
Limitamos o levantamento às empresas do município de Salvador, pela maior facilidade de entender, obter e analisar os dados obtidos.

A estrutura principal do questionário pode ser verificada no apêndice A. Entretanto, salientamos que em decorrência da variabilidade dos métodos de obtenção de respostas, adotamos o formato de entrevista semi estruturada. Conforme a compreensão das respostas do questionário, foram feitas análises exemplificadas por gráficos, presentes nos subtópicos 4.1.1 a 4.1.3.

4.1.1 Levantamento das quantidades de corpos de provas descartados

Os resultados obtidos estão apresentados nos gráficos 4 e 5, que mostram, respectivamente, a quantidade média de CPs descartados por empresa e a representatividade percentual desse descarte entre as categorias analisadas. A interpretação desses dados possibilita avaliar o impacto dos resíduos laboratoriais no contexto da construção civil e discutir alternativas para uma gestão mais eficiente e sustentável.

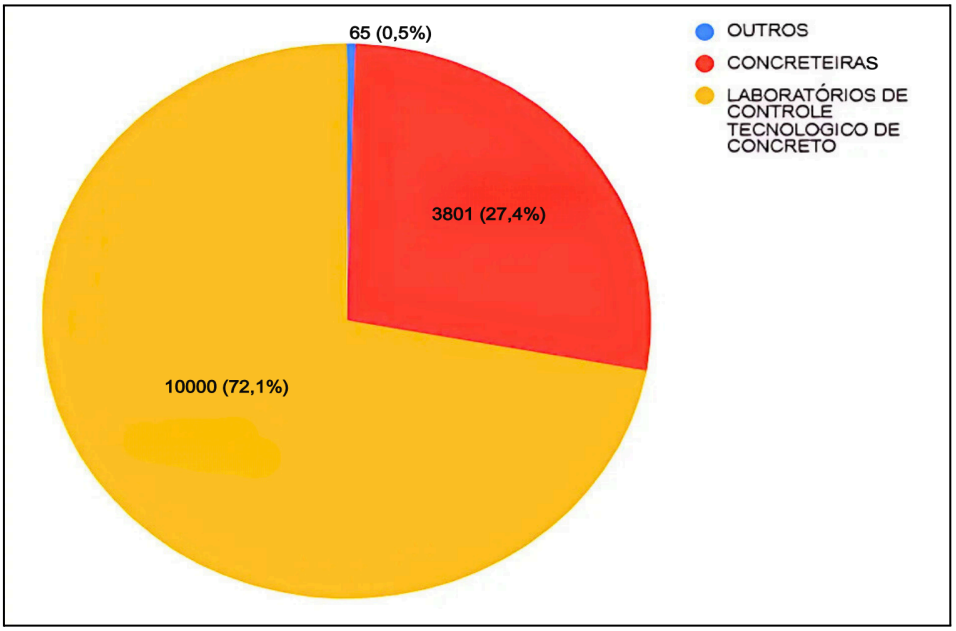
Gráfico 4 - Quantidade média de CPs de concreto descartados mensalmente.



Fonte: Autoria própria (2025).

A partir da análise dos dados do gráfico 4, é perceptível que os resíduos laboratoriais das empresas que realizam o controle tecnológico do concreto não possuem uma expressão tão significativa quando comparados aos resíduos da construção civil, conforme previsto por Senger e Senger (2020). Entretanto, ao não comparar com a escala total dos resíduos da construção civil, acentua-se a necessidade de atenção ao volume descartado, tendo em vista que a quantidade média descartada mensalmente por todas as empresas, 13.866 corpos de prova, equivale aproximadamente a 21 m³ de concreto, considerando o volume de 0,00157 m³ por CP cilíndrico.

Gráfico 5 - Representatividade dos CPs de concreto descartados.



Fonte: Autoria própria (2025).

Analisando a proporção descartada entre as categorias utilizadas (gráfico 5), percebe-se que o maior gerador de resíduos de CPs de concreto está entre as empresas especializadas no controle tecnológico do concreto. Essa constatação pode ser explicada pela dedicação integral da categoria à realização dos ensaios de controle tecnológico do concreto, além das atividades de fiscalização em obras, o que resulta em um aumento significativo na quantidade de CPs descartados.

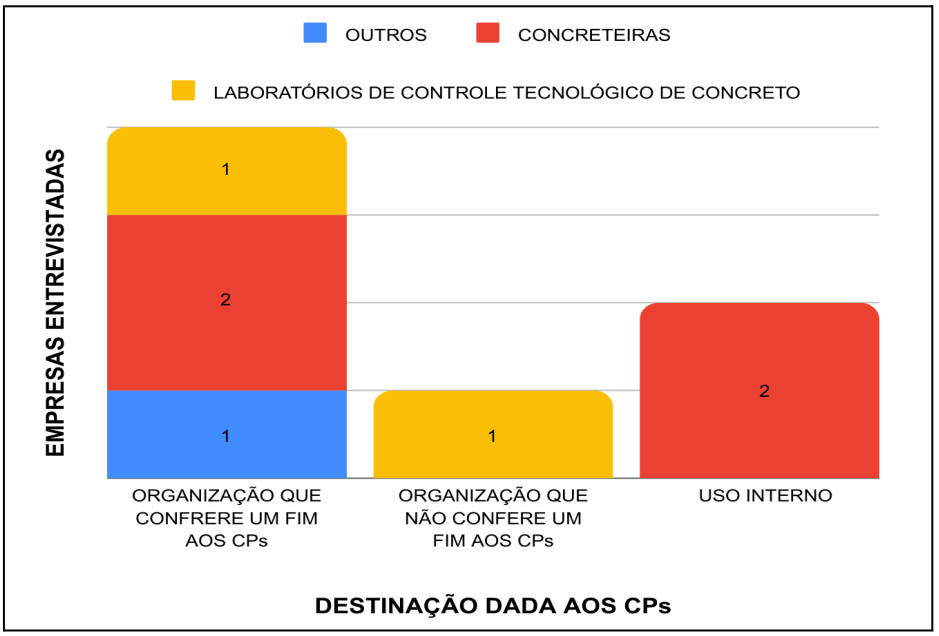
As concreteiras, por sua vez, descartam 44,7% menos corpos de prova do que os laboratórios tecnológicos de concreto. Essa diferença pode ser justificada justamente pela comparação das atividades entre as categorias, que exigem

quantidades distintas de ensaios. A construtora analisada apresenta os menores índices de descarte do levantamento, o que também pode ser explicado pela menor demanda de ensaios exigida em relação às demais categorias.

4.1.2 Destinação e atual gestão dos resíduos

Além da quantificação dos corpos de prova descartados, também foi analisada a destinação dada a esses resíduos pelas empresas entrevistadas. Os resultados permitem avaliar o grau de conscientização e comprometimento das empresas com a gestão sustentável dos resíduos e identificar oportunidades para melhorias no descarte e reaproveitamento dos corpos de prova. Os dados foram destrinchados de maneira que se tivesse uma correlação entre a categoria e a destinação (gráfico 6). Além disso, foi extraído do questionário um porcentual dos corpos de prova que são reciclados ou reutilizados (gráfico 7).

Gráfico 6 - Gerenciamento dos resíduos de corpos de prova.

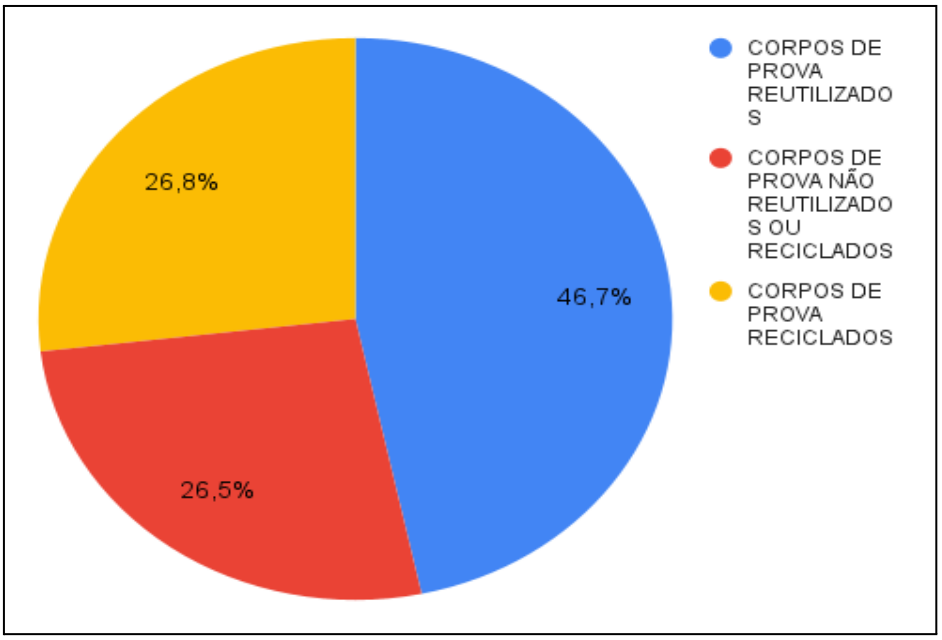


Fonte: Autoria própria (2025).

Baseado na correlação, é possível concluir, que em sua maioria, as empresas que descartam os corpos de prova de concreto, independentemente de sua categoria, se preocupam com o impacto gerado pelo descarte inadequado desses

resíduos, destinando-os a organizações comprometidas com a reinserção desses materiais.

Gráfico 7 - Porcentagem de corpos destinados à reciclagem ou reutilização.



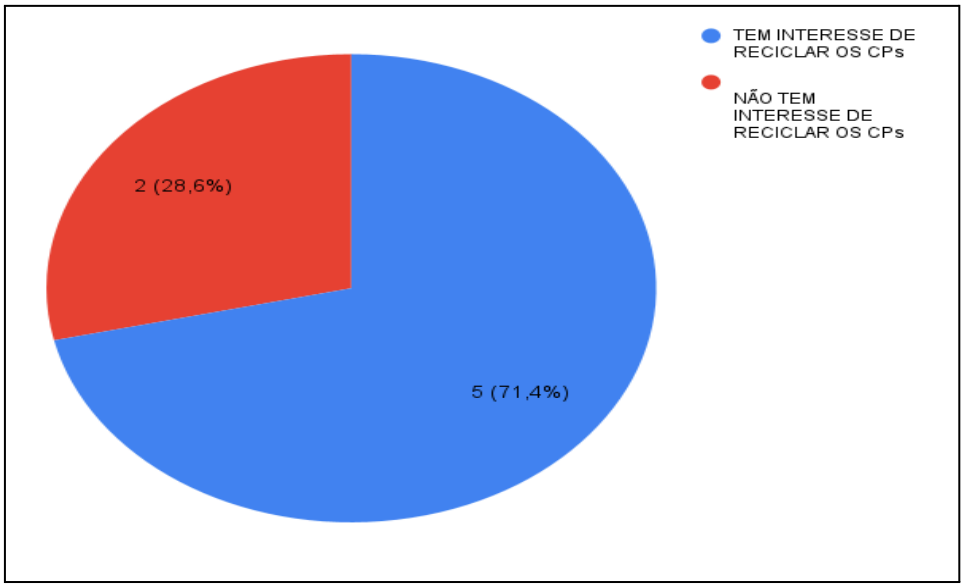
Fonte: Autoria própria (2025).

Entretanto, a partir da compreensão do gráfico 7, é possível aferir, que mesmo sendo fração minoritária, os corpos de prova que não são reciclados nem reutilizados, não podem ser tratados como desprezíveis. Além disso, é visível que as empresas priorizam a reutilização ao invés da reciclagem. Uma das causas apontada foi o reinvestimento que seria necessário para reciclar esses materiais.

4.1.3 Interesse de reciclagem das empresas

Além da análise da quantidade de corpos de prova descartados e da destinação dada a esses resíduos, também foi investigado o interesse das empresas em adotar práticas de reciclagem para os CPs, como representado nos gráficos 8 e 9. Os resultados obtidos permitem avaliar a predisposição das empresas para implementar soluções sustentáveis. Utilizou-se a NBR 15116:2021 para averiguar o conhecimento sobre as possibilidades de reciclagem.

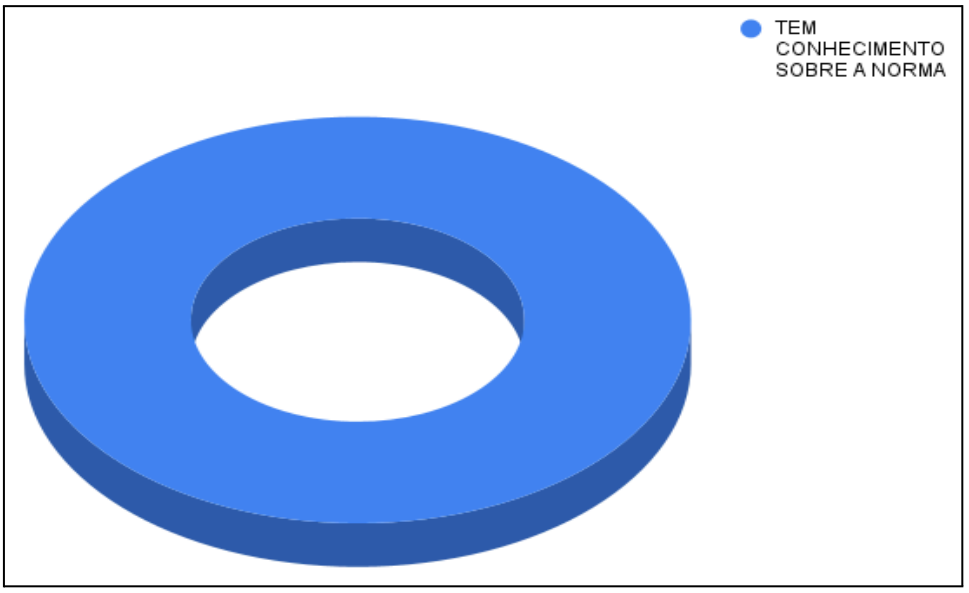
Gráfico 8 - Porcentagem de corpos destinados à reciclagem ou reutilização.



Fonte: Autoria própria (2025).

Conforme é visto no gráfico 8, as empresas demonstraram interesse em reciclar os RCPs, evidenciando uma crescente preocupação com a sustentabilidade e a gestão responsável dos resíduos da construção civil. Esse interesse pode estar relacionado tanto à conscientização ambiental quanto à busca por alternativas economicamente viáveis para a destinação desses resíduos.

Gráfico 9 - Conhecimento sobre a NBR 15116:2021.



Fonte: Autoria própria (2025).

O conhecimento sobre a NBR 15116 reafirma a posição das empresas em relação ao interesse e aplicabilidade da reciclagem dos resíduos de concreto, uma vez que essa norma estabelece diretrizes para a reutilização desses materiais na produção de novos produtos cimentícios. Empresas que demonstram familiaridade com a norma tendem a apresentar maior interesse na implementação de práticas sustentáveis e no desenvolvimento de estratégias para a destinação adequada dos resíduos de corpos de prova.

5 PESQUISA EXPERIMENTAL

A pesquisa experimental foi desenvolvida para analisar as características do agregado e do concreto produzido a partir de resíduos de corpos de prova descritos no estudo, visando verificar sua conformidade com as normas e a revisão bibliográfica.

Foram utilizados os ensaios de compressão, tração diametral, absorção por capilaridade e slump, para conhecer as propriedades do concreto reciclado em comparação ao convencional. Também foi feita a caracterização do material reciclado a partir dos ensaios de granulometria, absorção, teor de material pulverulento, além da determinação da massa específica e unitária.

A maioria dos ensaios e procedimentos foram realizados no laboratório da CONCRELAB Tecnologia de Controle da Qualidade Ltda., com exceção do ensaio de teor de material pulverulento, conduzido nos laboratórios do Instituto Federal da Bahia - Campus Salvador (IFBA).

5.1 MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados no programa experimental foram:

- Cimento CP II F 32, marca Elizabeth;
- Agregado miúdo natural - Areia, encontrada no mercado local (não foi fornecido a origem do material);
- Agregado graúdo natural - Brita 0 encontrada no mercado local (não foi fornecido a origem do material);
- Agregado graúdo reciclado - Brita 0 reciclada;
- Aditivo polifuncional redutor de água POLYKEM 899.

O agregado graúdo reciclado foi obtido a partir do processo de britagem manual dos corpos de prova descartados durante as atividades da CONCRELAB. A escolha da brita 0 para realizar os ensaios, foi motivada pelo processo de britagem utilizado que gerou uma maior quantidade de partículas graduadas nessa faixa. O item 5.1.1, decorrerá mais sobre a metodologia de britagem utilizada. Para enquadrar a brita natural com mais precisão, delimitou-se a quantidade de material retido na peneira de 12,5 mm, antes de ser utilizada.

O quadro 8 apresenta a carta traço utilizada para a dosagem do concreto de referência. Vale ressaltar que não foi possível realizar os ajustes necessários com base na caracterização dos agregados por questões de prazo de pesquisa e método de britagem adotado, que influenciaram significativamente as etapas da pesquisa.

Quadro 8 - Carta traço do concreto utilizado.

C	A	B	X (a/c)	CONSUMO DE CIMENTO (kg/m³)
1	2,00	2,63	0,65	372

Fonte: Autoria própria (2025).

As variáveis adotadas para o estudo foram escolhidas para avaliar a influência do teor de substituição total e parcial da fração graúda do agregado natural pelo reciclado. Além disso, utilizaram-se concretos de resistência de 30 e 40 MPa, para verificar possíveis alterações na resistência. As proporções utilizadas na dosagem dos concretos podem ser verificadas no quadro 9.

Quadro 9 - Variáveis escolhidas para pesquisa.

CONCRETO n°	NOMENCLATURA	AREIA NATURAL (%)	BRITA NATURAL (%)	BRITA RECICLADA (%)
1	T01REF	100	100	0
2	T02REC	100	0	100 (30 MPa)
3	T03REC	100	50	50 (30 MPa)
4	T04REC	100	50	50 (40 MPa)

Fonte: Autoria própria (2025).

5.1.1 Britagem manual

Por conta da inviabilização de outros métodos de britagem, utilizou-se o método de britagem manual. Não foram encontrados, em nossa revisão bibliográfica, outros estudos que utilizaram esse procedimento.

Segundo Varella (2011) *apud* Carnaúba (2023), a função da britagem é diminuir o volume das partículas de um material. Logo, a britagem manual pode cumprir a finalidade mínima para efeitos de pesquisa em casos excepcionais, como este.

Na primeira etapa da britagem (foto 1), os pedaços maiores de concreto foram reduzidos e despejados na peneira de 25 mm. Todo o material retido nessa peneira

retornou à primeira etapa de britagem para que a amostra fosse reduzida ao máximo.

Foto 1 - Primeira etapa da britagem manual.

Fonte: Autoria própria (2025),

Percebeu-se que a maioria do material passante na peneira de 25 mm adquiriu uma dimensão menor que a usual em britas do tipo 1, além da presença de muitos finos, como pode ser visto na foto 2.

Foto 2 - Primeiro processo de beneficiamento.
2.1) Material passante na peneira de 25 mm. **2.2)** Material retido na peneira de 25. **2.3)** Finos e agregados miúdo reciclado (AMR).

Fonte: Autoria própria (2025).

A partir dessa análise, optou-se por utilizar a faixa granulométrica correspondente à brita 0, que abrange dimensões de 4,75 a 12,5 mm, segundo a NBR 7211:2022.

Com essa mudança, o material passante na peneira de 25 mm passou a ser ajustado para se adequar à faixa granulométrica regulamentada, passando por um processo mais minucioso de britagem. Esse processo consistiu em britar proporcionalmente a quantidade de material retida nas peneiras, conforme a composição exigida, como evidência a foto 3.

Foto 3 - Separação dos agregados por dimensão.

Fonte: Autoria própria (2025).

Dessa forma, estimou-se a quantidade necessária para a moldagem dos corpos de prova (CPs) e a realização dos ensaios de caracterização. A partir dessa quantidade, aplicaram-se os limites da composição granulométrica do agregado dentro da faixa de 4,75 a 12,5 mm, conforme destacado no quadro 10.

Quadro 10 - Limites da composição granulométrica do agregado.

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada				
	Zona granulométrica *d*/*D*[a]				
	4,75/12,5	9,5/25	19/31,5	25/50	37,5/75
75 mm	–	–	–	–	0 – 5
63 mm	–	–	–	–	5 – 30
50 mm	–	–	–	0 – 5	75 – 100
37,5 mm	–	–	–	5 – 30	90 – 100
31,5 mm	–	–	0 – 5	75 – 100	95 – 100
25 mm	–	0 – 5	5 – 25[b]	87 – 100	–
19 mm	–	2 – 15[b]	65[b] – 95	95 – 100	–
12,5 mm	0 – 5	40[b] – 65[b]	92 – 100	–	–
9,5 mm	2 – 15[b]	80[b] – 100	95 – 100	–	–
6,3 mm	40[b] – 65[b]	92 – 100	–	–	–
4,75 mm	80[b] –100	95 – 100	–	–	–
2,36 mm	95 – 100	–	–	–	–

Fonte: NBR 7211 (2022), adaptada.

Vale destacar que, durante o processo de britagem, como pode ser visto na foto 4, obteve-se uma quantidade significativa de finos, que poderia ser utilizada como agregado miúdo reciclado (AMR). No entanto, optou-se pelo agregado reciclado graúdo devido às informações obtidas sobre a influência do AMR no concreto. No quadro 8, percebe-se uma inconstância nos resultados de resistência, que variam desde um aumento na resistência até uma diminuição brusca, tornando os resultados da pesquisa imprevisíveis.

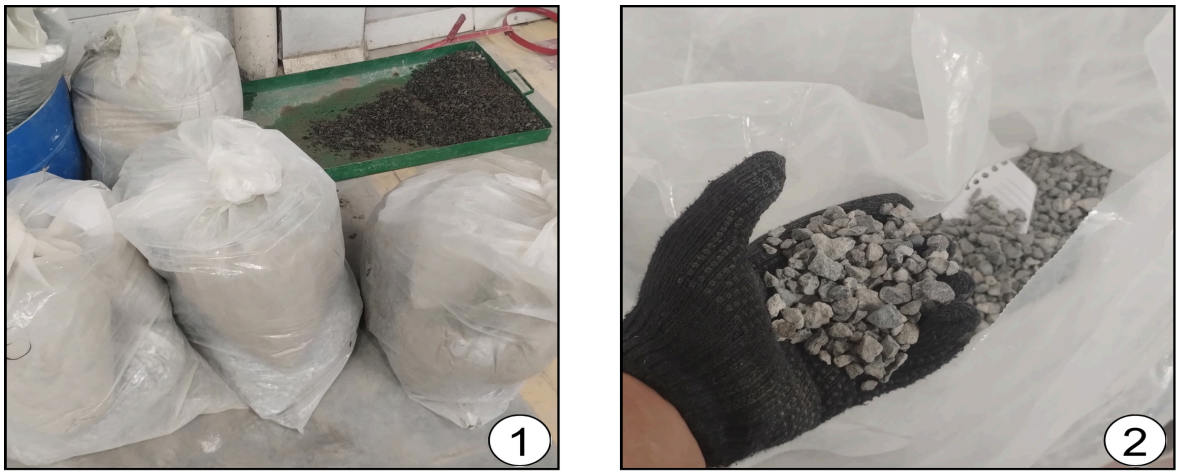
Além disso, destacam-se fatores como trabalhabilidade, absorção de água, presença de material pulverulento e impurezas, que são mais suscetíveis na fração miúda do agregado reciclado. Dessa forma, todo o material correspondente a essa fração foi descartado.

Foto 4 - Finos do processo de britagem.

Fonte Autoria própria (2025).

Por fim, após o processo de britagem, o material obtido foi armazenado em sacos, conforme as diretrizes da NBR 10007:2004 e visto na foto 5.

Foto 5 - Armazenamento do material obtido da britagem manual**.**
5.1) Material armazenado. **5.2)** Material obtido.



Fonte: Autoria própria (2025).

5.2 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

A caracterização do agregado é fundamental para garantir a qualidade do concreto. A norma NBR 7211 estabelece que os agregados devem ser compostos

por grãos e minerais duros, estáveis e duráveis, e não podem conter substâncias que possam afetar a hidratação e o endurecimento do cimento, a proteção da armadura contra a corrosão, a durabilidade ou o aspecto visual do concreto. A caracterização adequada permite identificar a presença de substâncias nocivas e a variabilidade das características dos agregados, que podem impactar diretamente no desempenho do concreto.

Além disso, a norma menciona que ensaios complementares de caracterização podem ser necessários para a utilização do agregado em concreto, como o ensaio de granulometria, absorção de água, teor de material pulverulento, massa específica e unitária, entre outros. Esses ensaios ajudam a assegurar que os agregados atendam aos requisitos de qualidade e durabilidade exigidos para a aplicação específica do concreto.

A origem dos materiais também desempenha um papel crucial na qualidade e desempenho do concreto. A norma NBR 12655:2022 destaca que a procedência dos agregados pode influenciar diretamente a resistência e a durabilidade do concreto, pois diferentes fontes podem apresentar variações significativas na composição mineralógica e na presença de contaminantes. Estudos, como o de Medeiros *et al.* (2015), apontam que agregados oriundos de regiões com altos teores de materiais argilosos podem comprometer a aderência da pasta de cimento, reduzindo a resistência mecânica do concreto.

Além disso, a pesquisa de Silva e Almeida (2018) ressalta que a utilização de agregados reciclados provenientes de fontes não controladas pode resultar em uma variabilidade excessiva das propriedades do concreto, tornando essencial a rastreabilidade dos materiais.

Portanto, garantir a rastreabilidade e a qualidade da origem dos materiais utilizados no concreto é um fator determinante para assegurar seu desempenho a longo prazo, evitando problemas estruturais e garantindo conformidade com as normas técnicas vigentes.

As caracterizações feitas para pesquisa, estão no item 6.1. Como descrito no item 5.1, não foi fornecido pelo estabelecimento o local de origem dos agregados naturais.

Conforme amparado pela NBR 16915 (2021), não reduzimos o material para obter a amostra representativa dos agregados graúdos, que seria necessária para caracterizar o material. Isso se justifica pela presença de poucas partículas de maior

dimensão. Entretanto, o agregado miúdo passou pelo processo de redução de amostra como recomendado pela norma (foto 6).

Foto 6 - Redução de agregado miúdo.

Fonte: Autoria própria (2025).

5.2.1 Ensaio de composição granulométrica

O ensaio granulométrico, conforme descrito na norma NBR 7211:2022, envolve um processo detalhado que pode ser dividido em várias etapas. Estudos de Mehta e Monteiro (2014) destacam que a distribuição granulométrica dos agregados influência a compacidade do concreto e, consequentemente, sua resistência mecânica. Dessa forma, a realização desse ensaio assegura que os materiais utilizados atendam aos critérios técnicos exigidos pelas normas e garantam um desempenho adequado da estrutura final.

Os métodos utilizados estão descritos nas normas: NBR 17054:2022 e NBR NM 248:2001. Para a realização do ensaio da análise granulométrica da brita, não foram usadas as peneiras com dimensões menores que 4,75 mm. As peneiras de abertura superior a 19 mm também não foram utilizadas em razão do método de britagem ter selecionado as frações retidas nessas peneiras. As séries das peneiras usadas e algumas etapas realizadas podem ser vistas na foto 7.

Foto 7 - Ensaios granulométricos.
7.1) Série de peneiras usadas no ensaio granulométrico da brita. **7.2)** Série de peneiras usadas no ensaio granulométrico da areia. **7.3)** Brita despejada sobre as peneiras. **7.4)** Areia despejada sobre as peneiras.

Fonte: Autoria própria (2025).

5.2.2 Ensaio de absorção de água

O ensaio de absorção de água para agregados é fundamental na construção civil, pois permite determinar a quantidade de água que os agregados podem absorver, influenciando diretamente na dosagem de água no concreto. Agregados com alta absorção podem alterar a relação água/cimento, afetando a trabalhabilidade e a resistência do concreto.

O método utilizado foi o mesmo descrito na NBR 16917:2021 e ilustrado na foto 8.

Foto 8 - Etapas do ensaio de absorção.
8.1) Lavagem do material. **8.2)** Submersão em água por 24 horas. **8.3)** Secagem do material. **8.4)** Pesagem da superfície saturada seca. **8.5)** Pesagem do material seco pós-estufa.

Fonte: Autoria própria (2025).

5.2.3 Ensaio do teor de material pulverulento

O ensaio do teor de material pulverulento em agregados graúdos é fundamental para garantir a qualidade e a durabilidade das estruturas de concreto.

O método utilizado estão descritos na NBR 16973:2021. A foto 9 indica alguns processos feitos na caracterização. Destaca-se que a determinação foi realizada apenas para o agregado graúdo reciclado de 30 MPa por questões de tempo de pesquisa e quantidade de material. O agregado graúdo natural não passou pela determinação, mas a tabela 3 consta a determinação usual pelo laboratório da CONCRELAB, segundo a classificação da brita utilizada, para fins de comparação. As etapas correspondentes as fotos 9.1,9.2,9.3 e 9.5, foram realizadas no IFBA.

Foto 9 - Ensaio do teor de material pulverulento.
9.1) Lavagem do material. **9.2)** Retirada dos grãos presos na peneira. **9.3)** Secagem do material. **9.4)** Pesagem do material seco pós-estufa. **9.5)** Comparação da água de lavagem com água limpa.

Fonte: Autoria própria (2025).

5.2.4 Determinação de massa específica e unitária

O ensaio de determinação da massa unitária e massa específica dos agregados, é um procedimento fundamental para a caracterização dos materiais utilizados na produção do concreto. Esse ensaio permite avaliar a densidade do agregado no estado solto e compactado, bem como sua massa específica, fornecendo informações essenciais para o cálculo da dosagem dos concretos e argamassas.

Estudos de Mehta e Monteiro (2014) ressaltam que a massa unitária influencia diretamente o consumo de cimento e a trabalhabilidade da mistura, enquanto a massa específica afeta a resistência e a durabilidade do concreto. Dessa

forma, a realização desse ensaio garante que os materiais atendam aos requisitos normativos e proporcionem um desempenho estrutural adequado.

O ensaio da massa específica da areia, foi realizado seguindo o método do frasco chapman, estabelecido na NBR 9776:2003. Para a determinação da massa específica da brita, utilizou-se o deslocamento do volume de água em uma proveta, método usual no laboratório. Nas determinações das massas unitárias, foram utilizadas a NBR 16971:2021, que consistia em preencher um recipiente de volume conhecido e relacionar à massa aferida do material. Ambos métodos são usuais em laboratórios para determinação das massas com praticidade. A foto abaixo demonstra algumas etapas realizadas.

Foto 10 - Determinação de massas.
10.1) Deteminação de massa unitária da areia. **10.2)** Determinação de massa unitária brita. **10.3)** Método do frasco chapman.

Fonte: Autoria própria (2025).

5.3 ENSAIOS DE CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO

5.3.1 Moldagem dos corpos de prova e slump

A quantidade total de CPs utilizados para o programa experimental foi de 32, divididos entre os ensaios necessários e as variáveis do quadro 9. Foram necessários 3 CPs por idade e variável do concreto, sendo as idades analisadas 7 e 28 dias para os ensaios de compressão. Para os ensaios de absorção do concreto, foram utilizados 2 CPs por variável, posteriormente reutilizados para o ensaio de tração diametral.

Totalizando assim:

- 8 CPs: 10x20 - T01REF (agregados naturais);
- 8 CPs de 10x20 - T02REC (100% de substituição de agregados graúdos reciclados de concretos de 30 MPa);
- 8 CPs de 10x20 - T03REC (50% de substituição de agregados graúdos reciclados de concretos com resistência de 30 MPa);
- 8 CPs de 10x20 - T04REC (50% de substituição de agregados graúdos com resistência de 40 MPa).

A moldagem dos corpos de prova seguiu a metodologia da NBR 5738:2015, a foto 11 ilustra algumas fases processo.

Foto 11 - Detalhes da moldagem dos CPs.
11.1) CPs preparados. **11.2)** Mistura do concreto. **11.3)** Rasamento e identificação dos CPs. **11.4)** Armazenamento.

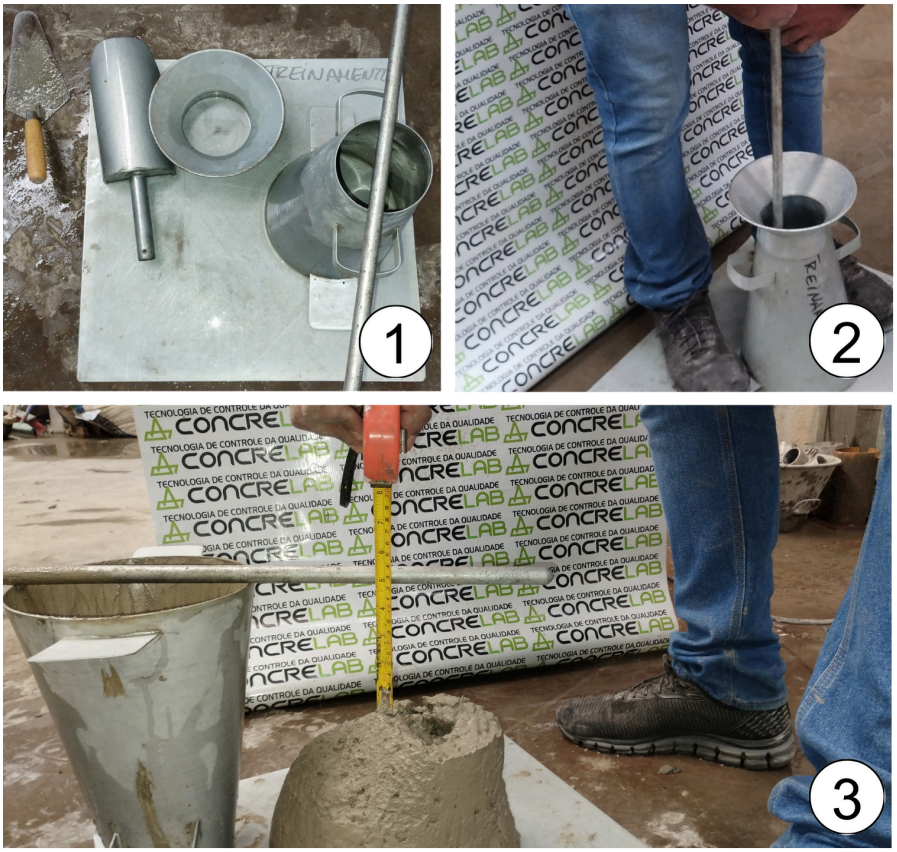
Fonte: Autoria própria (2025).

A determinação de consistência pelo abatimento de cone seguiu a NBR 16889:2020. Foi escolhido como referência o abatimento de 120 mm, que foi atingido com o auxílio do ativo polifuncional listado no item 5.1, que tem a função de aumentar a trabalhabilidade do concreto produzido. Escolheu-se utilizar o aditivo em razão da absorção de água dos agregados reciclados. Logo, o aditivo escolhido

eliminaria a necessidade de aumentar a quantidade de água na mistura do concreto para ter uma trabalhabilidade usual.

A foto 12 demonstra algumas etapas e a aparelhagem usada para determinação do parâmetro.

Foto 12 - Detalhes do ensaio de abatimento de cone do concreto.
12.1) Aparelhagem do ensaio. **12.2)** Golpes na primeira camada. **12.3)** Aferição do abatimento.



Fonte: Autoria própria (2025).

5.3.2 Ensaio de absorção do concreto por imersão

A taxa de absorção do concreto foi realizado aproveitando os CPs destinados ao ensaio de tração.

Após a moldagem, os CPs foram colocados no tanque de cura e 8 CPs foram retirados quando o concreto atingiu 24 dias de cura, a fim de serem reutilizados no ensaio de absorção e no ensaio de tração diametral. Após a determinação da perda de umidade ao ar, os CPs foram colocados em estufa (foto 13), onde atingiram o estado seco e foram pesados para a determinação da taxa de absorção do concreto produzido.

Foto 13 - Corpos de prova do ensaio de absorção.

Fonte: Autoria própria (2025).

5.3.3 Ensaio de tração diametral e compressão

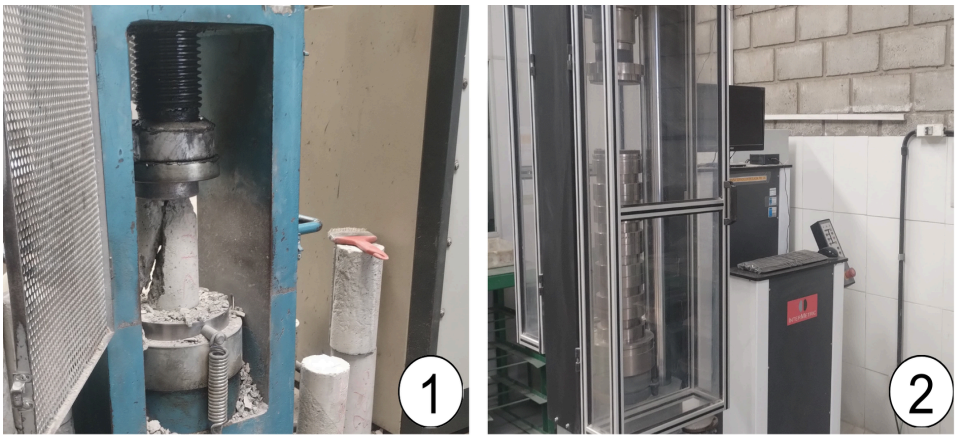
Para a realização dos ensaios de tração e compressão, os CPs passaram pelo processo de retificação, visto na foto 14.

Foto 14 - CPs passando pela retificação.

Fonte: Autoria própria (2025).

As prensas utilizadas foram para os ensaios de tração e compressão foram disponibilizados pelo laboratório da CONCRELAB. Os equipamentos podem ser vistos na foto 15.

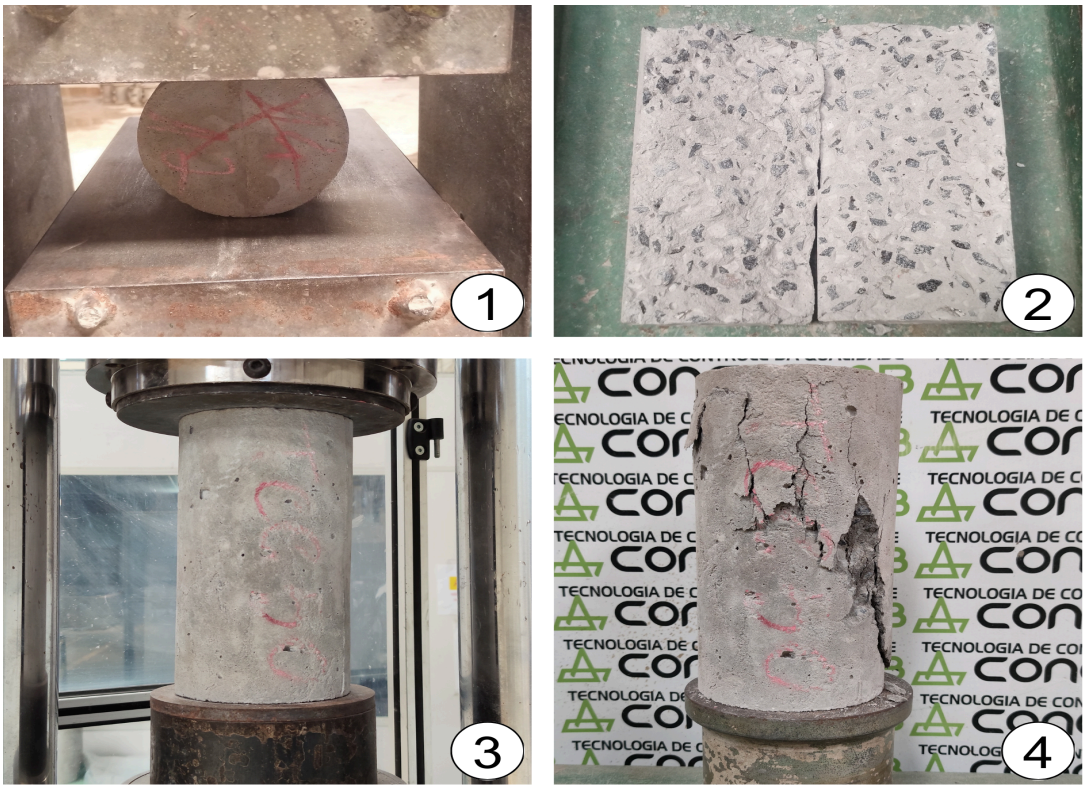
Foto 15 - Equipamentos utilizados.
15.1) Equipamento utilizado para o ensaio de tração. 15.**2)** Equipamento utilizado para ensaio de compressão.



Fonte: Autoria própria (2025).

Seguiu-se a metodologia da NBR 5739:2018 e da NBR 7222:2011, para a realização dos ensaios de compressão e tração diametral, respectivamente. A foto 16 detalha algumas etapas dos ensaios realizados.

Foto 16 - Ensaios de resistência à compressão e tração diametral.
16.1) CP posicionado - ensaio de tração diametral. **16.2)** CP rompido - ensaio de tração diametral.
16.3) CP posicionado - ensaio de compressão. **16.4)** CP rompido - ensaio de compressão.



Fonte: Autoria própria (2025).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

As tabelas, quadros e curvas utilizadas para a caracterização dos agregados foram disponibilizadas pela CONCRELAB e preenchidas com os resultados obtidos nos ensaios. A ficha completa utilizada está no anexo A a D.

O quadro 11, apresenta as zonas de utilização para o agregado miúdo estipuladas pela NBR 7211:2022.

Quadro 11 - Limites da composição granulométrica do agregado miúdo.

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100

Fonte: NBR 7211 (2020), adaptada.

O quadro 12 apresenta a composição granulométrica da areia determinada no ensaio.

Quadro 12 - Composição granulométrica do agregado miúdo natural.

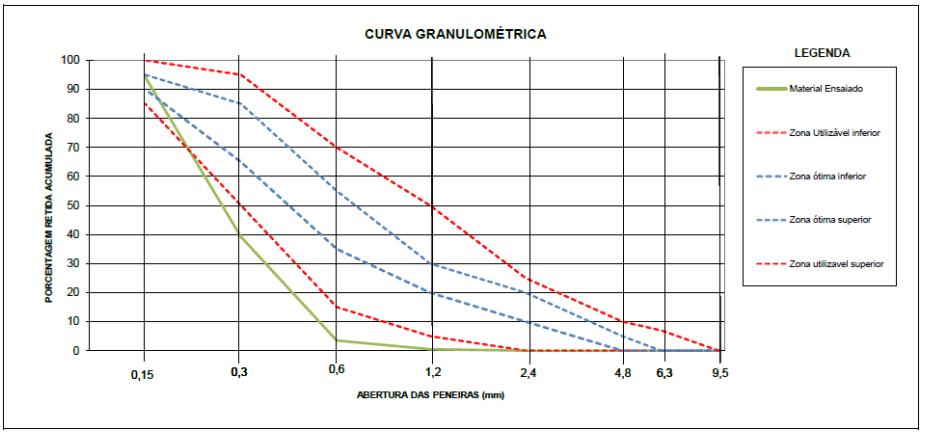
ABERTURA DAS PENEIRAS (mm)	MATERIAL RETIDO					
	PESO (g)		(%) RETIDA INDIVIDUAL			(%) RETIDA ACUMULADO
	AM.1	AM.2	AM.1	AM.2	Md	
9,55	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6,30[4]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4,75	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2,36	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1,18	0,0	3,0	0,0	1,0	0,5	0,5
0,60	10,0	8,0	3,3	2,7	3,0	3,5
0,30	116,0	98,0	38,7	32,7	35,7	39,2
0,150	157,0	173,0	52,3	57,7	55,0	94,2
0,075	17,0	18,0	5,7	6,0	5,8	100,0
FUNDO - PÓ	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
MASSA FINAL	300,0	300,0	100,0	100,0	100,0	
MASSA INICIAL	300,0	300,0				

Fonte: CONCRELAB (2025), adaptada.

Considerando os limites (quadro 11) e a composição determinada (quadro 12), percebe-se que a areia não se enquadram dentro dos limites inferiores ou superiores de faixas específicas, o que é enfatizado pela curva granulométrica do gráfico 10.

No gráfico 10, pode-se conferir a curva da composição granulométrica do material.

Gráfico 10 - Curva da composição granulométrica do agregado miúdo.



Fonte: CONCRELAB (2025), adaptada.

Como previsto na análise da composição granulométrica, a areia não está dentro das zonas de utilização regulamentadas pela NBR 7211, o que destaca a importância de saber o local de origem e da caracterização do material antes de ser utilizado. Como descrito no item 5.1, não foi possível realizar a caracterização antes da utilização do agregado miúdo natural e não foi informado o local de origem pela loja de materiais.

A partir dos ensaios, conferiu-se a caracterização da tabela 2 para o agregado miúdo natural.

Tabela 2 - Caracterização do agregado miúdo natural.

CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO	
MÓDULO DE FINURA - NBR 7211	2,37
DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA (mm) - NBR 7211	0,3
TEOR DE MATERIAIS PULVERULENTOS (%) - NBR NM 46	0,0
ABSORÇÃO DE ÁGUA (%) - NBR NM 30	NÃO APLICADO
MASSA ESPECÍFICA REAL (kN/m³) - NBR 9776	2,61
IMPUREZAS ORGÂNICAS - NBR 7220	NÃO APLICADO
MASSA UNITÁRIA (kg/dm³) - NBR NM 45	1,5
CLASSIFICAÇÃO DO AGREGADO	AREIA MÉDIA

Fonte: CONCRELAB (2025), adaptada.

A areia foi classificada como média, segundo sua composição granulométrica, que também apresentou o valor de 2,37 de módulo de finura e uma dimensão máxima de 0,3 milímetros, conforme a NBR 7211. Não foram realizados os ensaios de teor de materiais pulverulentos, absorção de água e impurezas orgânicaas, como pode ser percebido na tabela 2.

O quadro 13 mostra os limites de composição do agregado graúdo estipulados pela NBR 7211:2022.

Quadro 13 - Limites da composição granulométrica do agregado graúdo.

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada				
	Zona granulométrica *d/D*[a]				
	4,75/12,5	9,5/25	19/31,5	25/50	37,5/75
75 mm	–	–	–	–	0 – 5
63 mm	–	–	–	–	5 – 30
50 mm	–	–	–	0 – 5	75 – 100
37,5 mm	–	–	–	5 – 30	90 – 100
31,5 mm	–	–	0 – 5	75 – 100	95 – 100
25 mm	–	0 – 5	5 – 25[b]	87 – 100	–
19 mm	–	2 – 15[b]	65[b] – 95	95 – 100	–
12,5 mm	0 – 5	40[b] – 65[b]	92 – 100	–	–
9,5 mm	2 – 15[b]	80[b] – 100	95 – 100	–	–
6,3 mm	40[b] – 65[b]	92 – 100	–	–	–
4,75 mm	80[b] –100	95 – 100	–	–	–
2,36 mm	95 – 100	–	–	–	–

Fonte: NBR 7211 (2022), adaptada.

O quadro 14 apresenta a composição granulométrica do agregado graúdo natural.

Quadro 14 - Composição granulométrica do agregado graúdo natural.

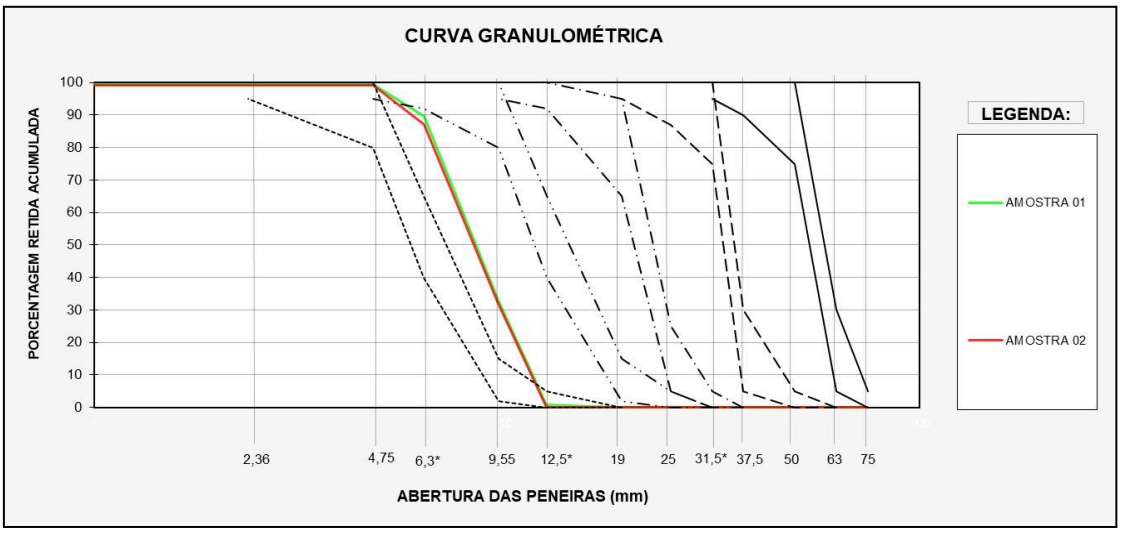
PENEIRA COM ABERTURA	MATERIAL RETIDO					
	PESO (g)		%		ACUMULADO (%)	
(mm)	AM.1	AM.2	AM.1	AM.2	AM.1	AM.2
75	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0
63*	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0
50*	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0
37,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0
31,5*	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0
25*	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0
19	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0
12,5*	7,0	0,0	0,7	0,0	1	0
9,55	322,0	320,0	32,2	32,0	33	32
6,3*	567,0	551,0	56,7	55,2	90	87
4,75	97,0	120,0	9,7	12,0	99	99
2,36	0,0	0,0	0,0	0,0	99	99
1,18	0,0	0,0	0,0	0,0	99	99
0,60	0,0	0,0	0,0	0,0	99	99
0,30	0,0	0,0	0,0	0,0	99	99
0,150	0,0	0,0	0,0	0,0	99	99
0,075	0,0	0,0	0,0	0,0	99	99
FUNDO-PÓ	7,0	8,0	0,7	0,8	100	100
MASSA FINAL	1000,0	999,0	100,0	100,0	-	-
MASSA INICIAL	1000,0	1000,0	-	-	-	-

Fonte: CONCRELAB (2025), adaptada.

A partir da análise da composição granulométrica do agregado graúdo natural, percebeu-se que, ao comparar com os limites da NBR 7211 (quadro 13), da brita utilizada não está dentro dos limites normativos. Entretanto, percebeu-se uma distribuição contínua.

O gráfico a seguir representa a curva granulométrica do agregado graúdo natural.

Gráfico 11 - Curva da composição granulométrica do agregado graúdo natural.



Fonte: CONCRELAB (2025), adaptada.

Analisando a curva granulométrica confirmou-se o que foi constatado na análise da composição granulométrica, percebendo uma distorção da faixa utilizada em comparação a faixa estipulada pela norma vigente. Além disso, visualmente, é destacável a declividade da curva que sugere boa distribuição granulométrica.

A tabela 3 representa a caracterização do agregado graúdo natural.

Tabela 3 - Caracterização do agregado graúdo natural.

CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO	AM. 01	AM. 02
MÓDULO DE FINURA - NBR 7211	7,28	7,26
DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA (mm) - NBR 7211	9,55	9,55
TEOR DE MATERIAIS PULVERULENTOS (%) - NBR NM 46	0,7	0,8
MASSA ESPECÍFICA DO AGREGADO SECO (g/cm³) - NBR NM 53	2,78	2,78
ABSORÇÃO DE ÁGUA (%) - NBR NM 53	1,00	1,00
MASSA UNITÁRIA (kg/dm³) - NBR NM 45	1,50	1,55
CLASSIFICAÇÃO DA AMOSTRA:	B0	B0

Fonte: CONCRELAB (2025), adaptada.

O agregado graúdo natural foi classificado como brita 0 em conformidade com a composição granulométrica. Destaca-se a absorção de água, parâmetro que diferencia o agregado reciclado.

Os quadros 15 e 16 referem-se a composição granulométrica do agregado graúdo reciclado de 30 MPa e 40 MPa, que serão analisados de forma conjunta em virtude da similaridade entre as composições, reforçada quando comparadas ao agregado natural.

Quadro 15 - Composição granulométrica do agregado graúdo reciclado de 30 MPa.

PENEIRA COM ABERTURA	MATERIAL RETIDO					
	PESO (g)		%		ACUMULADO (%)	
(mm)	AM.1	AM.2	AM.1	AM.2	AM.1	AM.2
75	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0
63*	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0
50*	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0
37,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0
31,5*	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0
25*	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0
19	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0
12,5*	116,0	91,0	7,9	6,2	8	6
9,55	476,0	551,0	32,5	37,4	40	44
6,3*	596,0	600,0	40,7	40,7	81	84
4,75	223,0	165,0	15,2	11,2	96	96
2,36	0,0	0,0	0,0	0,0	96	96
1,18	0,0	0,0	0,0	0,0	96	96
0,60	0,0	0,0	0,0	0,0	96	96
0,30	0,0	0,0	0,0	0,0	96	96
0,150	0,0	0,0	0,0	0,0	96	96
0,075	0,0	0,0	0,0	0,0	96	96
FUNDO-PÓ	55,0	66,0	3,8	4,5	100	100
MASSA FINAL	1466,0	1473,0	100,0	100,0	-	-
MASSA INICIAL	1466,0	1477,0	-	-	-	-

Fonte: CONCRELAB (2025), adaptada.

Quadro 16 - Composição granulométrica do agregado graúdo reciclado de 40 MPa.

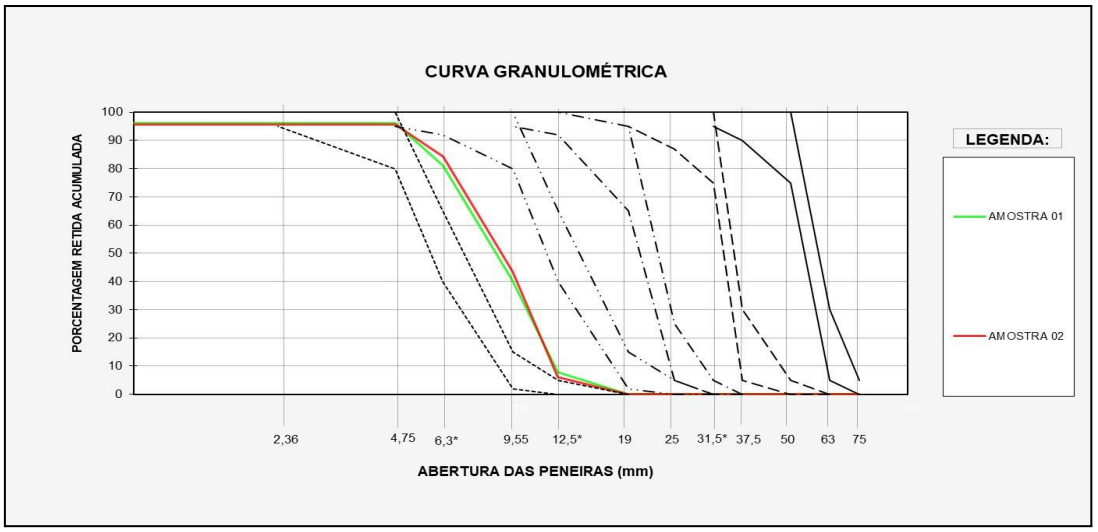
PENEIRA COM ABERTURA	MATERIAL RETIDO					
	PESO (g)		%		ACUMULADO (%)	
(mm)	AM.1	AM.2	AM.1	AM.2	AM.1	AM.2
75	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0
63*	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0
50*	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0
37,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0
31,5*	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0
25*	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0
19	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0
12,5*	18,0	19,0	1,5	1,6	1	2
9,55	295,0	429,0	24,2	35,1	26	37
6,3*	589,0	594,0	48,2	48,6	74	85
4,75	261,0	156,0	21,4	12,8	95	98
2,36	0,0	0,0	0,0	0,0	95	98
1,18	0,0	0,0	0,0	0,0	95	98
0,60	0,0	0,0	0,0	0,0	95	98
0,30	0,0	0,0	0,0	0,0	95	98
0,150	0,0	0,0	0,0	0,0	95	98
0,075	0,0	0,0	0,0	0,0	95	98
FUNDO-PÓ	58,0	25,0	4,8	2,0	100	100
MASSA FINAL	1221,0	1223,0	100,0	100,0	-	-
MASSA INICIAL	1221,0	1223,0	-	-	-	-

Fonte: CONCRELAB (2025), adaptada.

Analisando a composição granulométrica dos agregados reciclados, percebe-se um desvio dos limites estabelecidos pela NBR 7211, nas aberturas de 6,3 a 9,5 mm, justificado por um possível erro no processo de beneficiamento do material. Apesar disso, a distribuição granulométrica assemelha-se à apresentada pelo agregado graúdo natural.

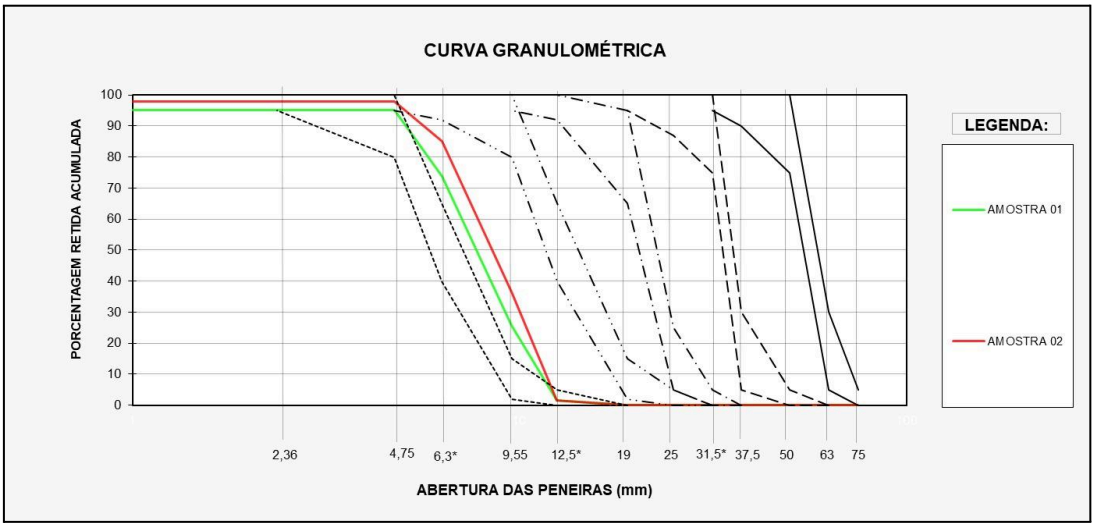
Os gráficos 12 e 13, apresentam as curvas granulométricas dos agregados reciclados utilizados.

Gráfico 12 - Curva da composição granulométrica do agregado graúdo 30 mpa.



Fonte: CONCRELAB (2025), adaptada.

Gráfico 13 - Curva da composição granulométrica do agregado graúdo 40 MPa.



Fonte: CONCRELAB (2025), adaptada.

A partir do apanhado geral dos resultados obtidos, é possível analisar coerência entre as faixas utilizadas dos agregados graúdos naturais e dos agregados graúdos reciclados. As curvas granulométricas e análises da composição granulométrica do material, são coerentes com os estudos feitos por Carvalho et at. (2018). A partir da análise da curva granulométrica do agregado reciclado, não é evidente uma diferença entre os agregados reciclados feitos com concretos de 30 e 40 MPa, o que mostra eficiência no processo de britagem. A diferença também é imperceptível quando comparados aos agregados convencionais.

As tabelas 4 e 5 listam os resultados das caracterizações realizadas para os agregados reciclados de 30 e 40 MPa.

Tabela 4 - Caracterização do agregado graúdo reciclado de 30 MPa.

CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO	AM. 01	AM. 02
MÓDULO DE FINURA - NBR 7211	7,14	7,12
DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA (mm) - NBR 7211	12,5	12,5
TEOR DE MATERIAIS PULVERULENTOS (%) - NBR NM 46	3,8	4,5
MASSA ESPECÍFICA DO AGREGADO SECO (g/cm³) - NBR NM 53	2,63	2,63
ABSORÇÃO DE ÁGUA (%) - NBR NM 53	6,40	6,00
MASSA UNITÁRIA (kg/dm³) - NBR NM 45	1,39	1,39
CLASSIFICAÇÃO DA AMOSTRA:	B0	B0

Fonte: CONCRELAB (2025), adaptada.

Tabela 5 - Caracterização do agregado graúdo reciclado de 40 MPa.

CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO	AM. 01	AM. 02
MÓDULO DE FINURA - NBR 7211	6,92	7,22
DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA (mm) - NBR 7211	9,55	9,55
TEOR DE MATERIAIS PULVERULENTOS (%) - NBR NM 46		
MASSA ESPECÍFICA DO AGREGADO SECO (g/cm³) - NBR NM 53	2,50	2,50
ABSORÇÃO DE ÁGUA (%) - NBR NM 53	5,20	5,40
MASSA UNITÁRIA (kg/dm³) - NBR NM 45	1,34	1,34
CLASSIFICAÇÃO DA AMOSTRA:	B0	B0

Fonte: CONCRELAB (2025), adaptada.

Como justificado no item 5.1.1 e detalhado nas tabelas 4 a 5, a brita é classificada como brita 0. O teor de materiais pulverulentos do agregado graúdo de 30 MPa obtido, 3,8%, apresentou-se dentro dos conformes da NBR 15116:2021, o que também é justificado pelo tratamento da britagem manual, descrita no item 5.1.1. O TMP é maior que o apresentado por Carvalho (2018), que obteve 3,2% de finos. A massa específica e unitária dos agregados reciclados se mantiveram abaixo

das encontradas nos agregados naturais. Fato também foi constatado por Carvalho (2018), visto na tabela 1. A absorção de água dos agregados reciclados de 30 e 40 MPa, estão conforme a NBR 15116:2021, mas apresentaram taxas maiores quando comparados ao agregado natural.

6.2 ABATIMENTO DE CONE

O quadro 17 indica o abatimento obtido em cada mistura, representado pelo processo empírico realizado, presente na foto 17.

Quadro 17 - Abatimento de cone obtido nos ensaios.

TRAÇO	ABATIMENTO (mm)
T01REF	120
T02REC	110
T03REC	130
T04REC	135

Fonte: Autoria própria (2025).

Foto 17 - Resultados do Slump.
17.1) Abatimento da amostra de concreto T01REF. **17.2)** Abatimento da amostra de concreto T02REC. **17.3)** Abatimento da amostra de concreto T03REC. **17.4)** Abatimento da amostra de concreto T04REC.

Fonte: Autoria própria (2025).

Percebeu-se que, em razão das características obtidas no processo de reciclagem do agregado reciclado, a trabalhabilidade não foi significativamente afetada. Destaca-se o estudo de Gerin e Nardin (2018), que obteve conclusões semelhantes aos resultados encontrados. Conforme constatado pelos autores, verificou-se, em todos os traços de concreto analisados, uma redução do slump proporcional à absorção de água do agregado reciclado.

A mistura feita com 100% de agregados reciclados de 30 MPa apresentou o menor abatimento entre as amostras ensaiadas, devido à elevada absorção desses agregados, que registraram as maiores porcentagens entre os materiais utilizados.

Consequentemente, os traços T03REC (50% de agregados graúdos reciclados de 30 MPa), T04REC (50% de agregados graúdos reciclados de 40 MPa) e o traço de referência apresentaram abatimentos maiores quando comparados ao T02REC.

6.3 ENSAIO DE ABSORÇÃO DO CONCRETO

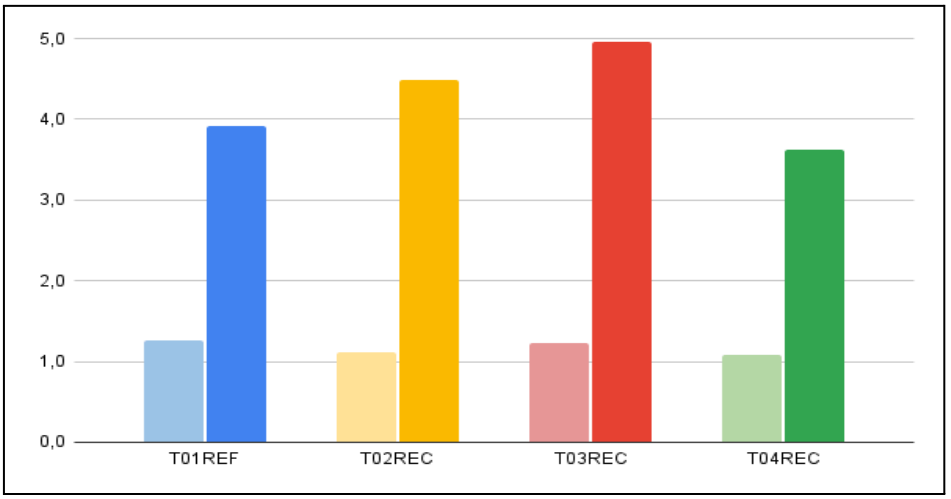
Os resultados do ensaio de absorção estão expressos no quadro 18 e graficamente representados em seguida.

Quadro 18 - Resultados do ensaio de absorção seco ao ar e seco em estufa.

TRAÇO	AMOSTRA n°	ABSORÇÃO / PESO SECO AO AR (%)	MÉDIA	ABSORÇÃO / PESO SECO EM ESTUFA (%)	MÉDIA
T01REF	1	1,25	1,3	3,87	3,9
	2	1,28		3,98	
T02REC	1	1,03	1,1	5,08	4,5
	2	1,21		3,90	
T03REC	1	1,41	1,2	5,04	5,0
	2	1,04		4,89	
T04REC	1	1,05	1,1	3,52	3,6
	2	1,10		3,74	

Fonte: Autoria própria (2025).

Gráfico 14 - Representação da absorção das amostras secas ao ar e em estufa.



Fonte: Autoria própria (2025).

Percebe-se a influência do diferencial de absorção dos agregados reciclados nos resultados de absorção dos concretos produzidos. O traço T02REC apresentou uma taxa de absorção inesperada, considerando que todo o agregado graúdo utilizado foi o reciclado de 30 MPa, que possui as maiores taxas de absorção.

Os demais dados, levando em consideração a absorção dos agregados detalhada no item 6.1, mostraram-se coerentes. O agregado reciclado de 40 MPa apresentou o melhor desempenho em relação à absorção do concreto reciclado.

6.4 ENSAIO DE TRAÇÃO DIAMETRAL

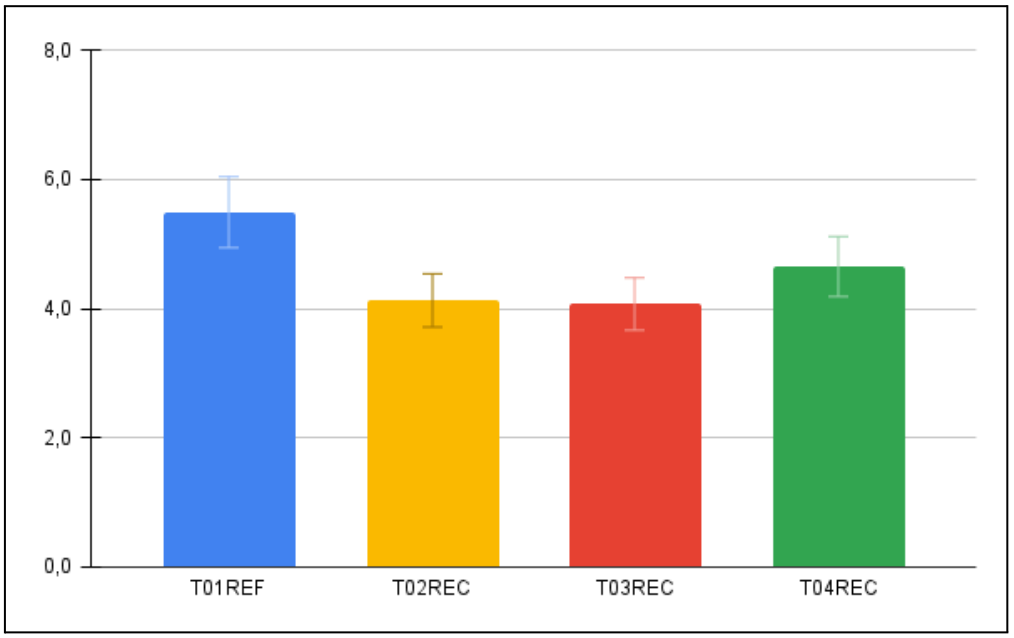
Os resultados do ensaio de tração diametral estão dispostos no quadro 19 e comparados graficamente em seguida.

Quadro 19 - Resultados do ensaio de tração diametral.

TRAÇO	AMOSTRA nº	RESISTÊNCIA (MPa)	MÉDIA (MPa)
T01REF	1	6,9	5,5
	2	4,1	
T02REC	1	4,3	4,1
	2	3,9	
T03REC	1	4,3	4,1
	2	3,8	
T04REC	1	4,7	4,7
	2	4,6	

Fonte: Autoria própria (2025).

Gráfico 15 - Representação dos resultados de tração diametral.



Fonte: Autoria própria (2025).

A partir do ensaio de tração, concluiu-se que os agregados reciclados exercem uma influência negativa no concreto, conforme previsto por Menezes e Sales (2019). No entanto, essa conclusão diverge dos achados de Silva, Chaves e Lima (2019), que observaram valores de resistência à tração diametral superiores em concretos contendo agregados reciclados.

Todavia, a diferença de resistência obtida não apresentou disparidades significativas, considerando especialmente a baixa relevância da resistência à tração na avaliação do concreto no estado endurecido.

O agregado reciclado de 40 MPa apresentou resultados mais próximos ao traço de referência, assim como ocorreu na absorção de água pelo concreto. Já as amostras com substituição parcial e total dos agregados naturais pelos de 30 MPa mantiveram valores equivalentes entre si, com uma redução de 25% em relação ao concreto de referência.

6.5 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

A resistência à compressão atingida pelas amostras produzidas estão descritas no quadro 20 e gráfico 16. Algumas amostras com resultados incoerentes

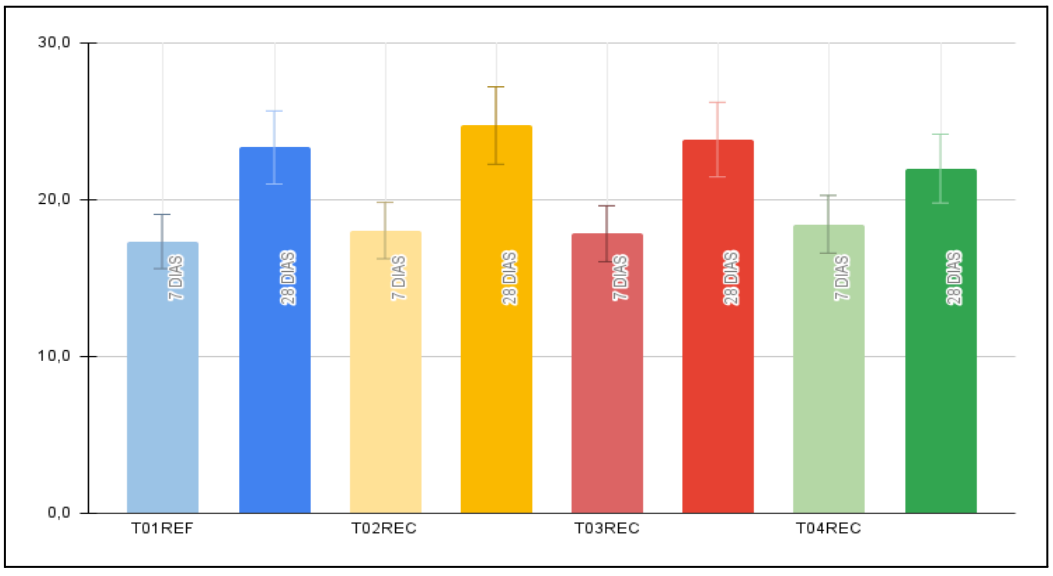
ao sistema amostral de 3 CPs por idade, não foram utilizadas para encontrar a média da resistência à compressão.

Quadro 20 - Resultados do ensaio de resistência à compressão obtidos.

TRAÇO	IDADE	AMOSTRA n°	RESISTÊNCIA (MPa)	MÉDIA (MPa)	DESVIO PADRÃO (MPa)
T01REF	7 DIAS	1	17,6	17,3	0,4
		2	16,6		
		3	17,3		
	28 DIAS	4	23,3	23,3	0,7
		5	23,1		
		6	24,6		
T02REC	7 DIAS	1	18,0	18,0	1,1
		2	19,0		
		3	16,4		
	28 DIAS	4	28,2	24,7	1,9
		5	24,7		
		6	23,9		
T03REC	7 DIAS	1	17,9	17,8	0,5
		2	17,8		
		3	16,9		
	28 DIAS	4	23,8	23,8	0,4
		5	24,6		
		6	23,8		
T04REC	7 DIAS	1	18,1	18,4	0,3
		2	15,6		
		3	18,7		
	28 DIAS	4	19,8	22,0	1,1
		5	21,9		
		6	22,0		

Fonte: Autoria própria (2025).

Gráfico 16 - Representação dos resultados de resistência à compressão.



Fonte: Autoria própria (2025)

Analisando os resultados da resistência à compressão das amostras, percebeu-se um desempenho melhor dos concretos feitos com agregados reciclados. Tais resultados, não foram encontrados no quadro 7, mas tiveram a possibilidade confirmada pelo estudo de Gonçalves (2001). Apesar de serem resultados incomuns no ponto de vista estatístico, percebe-se que as diferenças entre as resistências das amostras estão amparadas pela barra de erros adotada de 10%. Leva-se em consideração também o método de britagem utilizado na pesquisa, que influencia significativamente nas características do agregado reciclado. Como visto no item 6.1, a caracterização constatada nos ensaios, apresentou aos agregados reciclados características bem próximas às do agregado natural, o que muito se deve ao processo minucioso da britagem manual e a composição dos resíduos de corpos de prova de concreto, que não apresentaram impurezas ou contaminações que pudessem influenciar os resultados.

O concreto feito com 100% de agregado graúdo reciclado (T02REC), apresentou a maior resistência obtida aos 28 dias, superando em 4,9% a resistência atingida pelas amostras referenciais. O concreto produzido com agregados graúdos de 40 MPa apresentaram os resultados mais baixos.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa investigou a viabilidade técnica da reciclagem de corpos de prova de concreto, considerando a geração, gestão e reaproveitamento desses resíduos no setor da construção civil. Os dados levantados evidenciaram que, apesar de os resíduos laboratoriais representarem uma fração menor em comparação com os resíduos totais da construção civil (Senger e Senger, 2020), o volume descartado ainda é significativo. Em Salvador, as empresas analisadas descartam, em média, 13.866 corpos de prova mensalmente, o que equivale a aproximadamente 21 m³ de concreto. Esse volume demonstra a necessidade de estratégias mais eficazes para minimizar impactos ambientais e melhorar a gestão de resíduos.

A análise dos diferentes setores envolvidos no descarte dos corpos de prova revelou que os laboratórios de controle tecnológico de concreto são os principais geradores desse tipo de resíduo, seguidos pelas concreteiras e construtoras. Essa diferenciação se justifica pelo maior número de ensaios realizados em laboratórios especializados, enquanto concreteiras e construtoras demandam uma quantidade menor de testes. No entanto, constatou-se que a maioria das empresas demonstra preocupação com a destinação adequada dos resíduos, priorizando a reutilização em relação à reciclagem, principalmente devido aos custos envolvidos no processamento dos materiais.

Em relação à caracterização dos agregados reciclados, a análise granulométrica demonstrou coerência entre as faixas utilizadas para os agregados naturais e reciclados, alinhando-se aos estudos de Carvalho *et al.* (2018). As curvas granulométricas dos agregados graúdos reciclados de concretos de 30 MPa e 40 MPa apresentaram comportamento semelhante, evidenciando a eficiência do processo de britagem. Além disso, quando comparados aos agregados convencionais, os agregados reciclados mantiveram características próximas, reforçando sua viabilidade técnica para reintegração em novos processos construtivos.

Os resultados também mostraram que o teor de materiais pulverulentos no agregado reciclado de 30 MPa foi de 3,8%, estando dentro dos limites estabelecidos pela NBR 15116:2021, o que reforça a qualidade do material processado. A absorção de água dos agregados reciclados de 30 MPa e 40 MPa também se

manteve dentro dos parâmetros exigidos, indicando um desempenho compatível com o uso previsto. No entanto, verificou-se que a massa específica e unitária dos agregados reciclados ficaram abaixo das encontradas nos agregados naturais, resultado que já havia sido constatado em estudos anteriores, como o de Carvalho (2018).

Outro ponto relevante da pesquisa foi a avaliação do conhecimento das empresas sobre a NBR 15116:2021, que regulamenta o uso de agregados reciclados na construção civil. Os dados mostraram que as empresas mais familiarizadas com essa norma demonstraram maior predisposição para adotar práticas de reciclagem, o que evidencia a importância da disseminação de informações técnicas e capacitação no setor para ampliar a aceitação e aplicação de materiais reciclados.

Os ensaios de resistência à compressão revelaram um desempenho positivo dos concretos produzidos com agregados reciclados. Apesar de não serem resultados comuns do ponto de vista estatístico, as diferenças entre as resistências das amostras estavam dentro da margem de erro de 10%, conforme a barra de erros adotada na pesquisa. Além disso, o método de britagem utilizado influenciou significativamente nas características do agregado reciclado, proporcionando características próximas às do agregado natural. A ausência de impurezas ou contaminações nos corpos de prova reciclados também contribuiu para esses resultados.

O concreto produzido com 100% de agregado graúdo reciclado apresentou a maior resistência aos 28 dias, superando em 4,9% a resistência atingida pelo concreto de referência. Em contrapartida, o concreto feito com agregados graúdos de 40 MPa apresentou os menores valores de resistência. Esses resultados reforçam a influência da origem e qualidade dos agregados reciclados no desempenho mecânico do concreto.

No que se refere à trabalhabilidade, observou-se uma redução do slump proporcional à absorção de água do agregado reciclado, em conformidade com os achados de Gerin e Nardin (2018). A mistura composta por 100% de agregados reciclados de 30 MPa apresentou o menor abatimento, devido à sua elevada absorção. Já os traços T03REC (50% de agregados reciclados de 30 MPa), T04REC (50% de agregados reciclados de 40 MPa) e o traço de referência demonstraram valores de abatimento maiores quando comparados ao T02REC.

Com relação à resistência à tração, verificou-se uma leve redução nos concretos reciclados em comparação ao concreto convencional. Embora os resultados tenham confirmado a influência negativa dos agregados reciclados na resistência à tração, essa diferença não foi significativa, considerando especialmente a baixa relevância desse parâmetro na avaliação do concreto no estado endurecido. O concreto produzido com agregados reciclados de 40 MPa apresentou os valores mais próximos ao concreto de referência, enquanto as amostras com substituição parcial e total por agregados de 30 MPa tiveram uma redução de 25% em relação ao concreto convencional.

Diante desses resultados, conclui-se que a reciclagem dos corpos de prova de concreto é uma alternativa tecnicamente viável e sustentável, com potencial para reduzir impactos ambientais e promover a economia circular na construção civil. No entanto, desafios como o custo do processamento dos materiais e a necessidade de incentivos financeiros ainda dificultam a implementação em larga escala. Assim, sugere-se que futuras pesquisas aprofundem a análise sobre a durabilidade e o desempenho mecânico dos concretos produzidos com agregados reciclados, consolidando sua aplicabilidade em diferentes contextos construtivos.

8 REFERÊNCIAS

ALENCAR, Mayra Deberg. Um Contributo do Design para a Questão dos Desperdícios Gerados Pelo Setor da Construção Civil: Reinterpretação da Técnica Tradicional do Terrazzo em Objetos de Decoração. 2023. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto (Portugal).

ANGULO, Sérgio C.; FIGUEIREDO, AD de. **Concreto com agregados reciclados.** Concreto: ciência e tecnologia, 2011.

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 7211: Agregados para concreto – Requisitos.** Rio de Janeiro, 2022.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522-1: Concreto endurecido – Determinação dos módulos de elasticidade e de deformação — Parte 1: Módulos estáticos à compressão.** Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522-2: Concreto endurecido – Determinação dos módulos de elasticidade e de deformação — Parte 2: Módulo de elasticidade dinâmico pelo método das frequências naturais de vibração.** Rio de Janeiro, 2021.

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

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

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

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7680: Concreto – Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto.** Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10786: Concreto – Determinação do coeficiente de permeabilidade à água.** Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15114: Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação.** Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10007: Amostragem de resíduos sólidos.** Rio de Janeiro, 2004.

AZEVEDO, Gardênia Oliveira David de; KIPERSTOK, Asher; MORAES, Luiz Roberto Santos. **Resíduos da construção civil em Salvador: os caminhos para uma gestão sustentável.** Engenharia Sanitária e Ambiental, 2006.

BUTTLER, Alexandre Marques. **Concreto com agregados graúdos reciclados de concreto: influência da idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados.** 2003. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 17 jul. 2002.

CARVALHO, Rafael Amancio et al. **Utilização de resíduos de corpos de prova de concreto para fabricação de pavimentação intertravada.** Revista InterScientia, 2018.

CASSA, José Clodoaldo Silva; DE BRUM, Irineu Antônio Schadach; CARNEIRO, Alex Pires. **Diagnóstico dos setores produtores de resíduos na região metropolitana de Salvador/Bahia. Reciclagem de entulho para produção de materiais de construção–Projeto Entulho Bom.** Salvador: EDUFBA/Caixa Econômica Federal, 2001.

DOS SANTOS, Kailane Nepomuceno; DA SILVA, Sabrina Santos Barbosa; SILVA, Taíse Lalesca de Oliveira. **Gerenciamento dos resíduos sólidos da construção civil: uma análise dos relatos de profissionais da construção no município de Salvador - BA**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico em Edificações) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA) – Campus Salvador, Salvador, 2022.

FONTES, Maria Thereza Macieira. **A gestão dos resíduos sólidos da construção civil na cidade de Salvador e a implementação da resolução conama nº 307/2002.** 2008.

GERIN, Mayara Turi. Utilização de agregados de resíduos de construção em edificações. In: **WORKSHOP DE TECNOLOGIA DE PROCESSOS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS**. 2019.

LEAL, Cleber Eduardo Fernandes. **Peças para pavimento intertravado de concreto: estudo de viabilidade técnica na incorporação de agregado reciclado.** 2018.

LEITE, Mônica Batista. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** 2001.

MAGALHÃES, Fábio Costa; REAL, Mauro de Vasconcellos; SILVA FILHO, Luiz Carlos Pinto da. **Efeitos das operações de controle tecnológico do concreto na avaliação da confiabilidade de pilares de concreto armado.** 2018.

MACIEL, Izabela Pinho; LIMA, Paulo Roberto Lopes. **Caracterização do agregado reciclado e de fibras vegetais para uso em concreto sustentável.** Anais dos Seminários de Iniciação Científica, n. 25, 2021.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo JM. **Concreto. Microestrutura, propriedades e materiais**, v. 2, 2014.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do concreto-5ª Edição**. Bookman Editora, 2015.

NOVAS, Vilas et al. **Caracterização de concretos de reduzido impacto ambiental produzidos com a substituição parcial dos agregados naturais por agregados reciclados de artefatos de concreto.** 2020.

OLIVEIRA, Késsio Johones De Melo et al. **Avaliação de agregados reciclados de resíduos da construção civil da cidade de Uberaba: uma perspectiva para a sua utilização em guias de meio fio.** 2023.

SANTOS, Viviane Lopes Gschwenter dos. **Beneficiamento em jigue hidráulico para melhoria da qualidade dos agregados graúdos de resíduos de construção e demolição (RCD) utilizados em concretos.** 2020.

SENGER, Valter Antônio; SENGER, Amanda Schneider. **Reaproveitamento dos resíduos laboratoriais como agregado na confecção de concreto estrutural.** Journal of Biotechnology and Biodiversity, 2020.

SOUSA, Edilmar Ribeiro. A**nálise da gestão dos resíduos sólidos urbanos no Município de Salvador e os desafios ao cumprimento da lei federal nº 12.305/2010.** 2018.

QUEIROZ, Denise Coelho; VARELA, Kamila Moreira; PEREIRA, Rondinelly Geraldo; VIEIRA FILHO, Silvio. **Reaproveitamento de corpos de prova de concreto: estudo de caso.** Governador Valadares: Universidade Vale do Rio Doce - Univale, 2018.

9 **APÊNDICE A –** ENTREVISTA

I. DADOS QUE PRECISAM SER OBTIDOS:
- Quantidade média de corpos de prova de concreto descartados;
- Destino dos resíduos;
- Ciência sobre a NBR 15116 - Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland;
- Interesse em reaproveitar esses materiais.

PERGUNTAS

Empresa:_____
Nome / Cargo:_____

1. Em média, qual é a quantidade total dos corpos de prova de concreto descartados pela empresa mensalmente?
   _____
   _____

2. Geralmente, como é feita a destinação dos resíduos de corpos de prova? Os corpos de prova são reaproveitados para algum fim?
   _____
   _____

3. Caso o descarte desses materiais seja realizado por empresas terceirizadas, a empresa tomadora (em questão na entrevista) tem conhecimento da existência de algum gerenciamento voltado para os resíduos destinados à empresa contratada?
   _____
   _____
4. Qual é a posição e o interesse da empresa em relação às possibilidades de reciclagem dos corpos de prova?
   _____
   _____

5. O representante que participa da entrevista tem ciência da NBR 15116, que especifica os requisitos para a produção e recepção dos agregados reciclados (miúdos e graúdos)?
   _____
   _____

10 ANEXO A – AGREGADO MIÚDO - AREIA

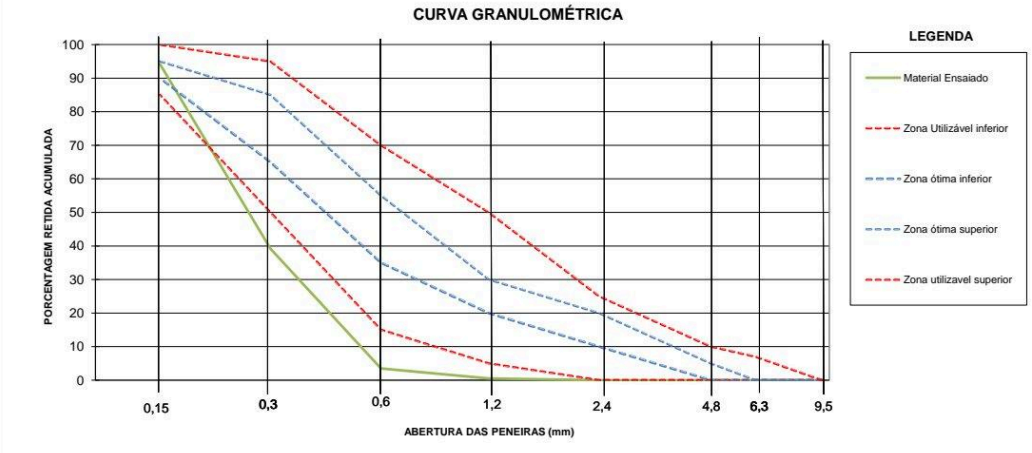
CONCRELAB	DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO MIÚDO (NBR NM 248:2003)	Nº DOC. : DATA : FOLHA.: 01/01 REV: 0

CLIENTE:	INSTITUTO FEDERAL DA BAHIA
OBRA :	TCC ISMAEL E ALEFI

MATERIAL:	AREIA NATURAL	AMOSTRA 01 (g):	300,0
LOCAL DA AMOSTRAGEM:	NÃO INFORMADO	AMOSTRA 02 (g):	300,0

ABERTURA DAS PENEIRAS (mm)	MATERIAL RETIDO						MAT. RETIDO ACUMULADO - NBR 7211:2009			
	PESO (g)		(%) RETIDA INDIVIDUAL			(%) RETIDA ACUMULADO	LIMITES INFERIORES		LIMITES SUPERIORES	
	AM.1	AM.2	AM.1	AM.2	Md		ZONA UTILIZÁVEL	ZONA ÓTIMA	ZONA ÓTIMA	ZONA UTILIZÁVEL
9,55	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0
6,30*	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	7
4,75	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	5	10
2,36	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	10	20	25
1,18	0,0	3,0	0,0	1,0	0,5	0,5	5	20	30	50
0,60	10,0	8,0	3,3	2,7	3,0	3,5	15	35	55	70
0,30	116,0	98,0	38,7	32,7	35,7	39,2	50	65	85	95
0,150	157,0	173,0	52,3	57,7	55,0	94,2	85	90	95	100
0,075	17,0	18,0	5,7	6,0	5,8	100,0				
FUNDO - PÓ	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0				
MASSA FINAL	300,0	300,0	100,0	100,0	100,0					
MASSA INICIAL	300,0	300,0								

CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO	
MÓDULO DE FINURA - NBR 7211	2,37
DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA (mm) - NBR 7211	0,3
TEOR DE MATERIAIS PULVERULENTOS (%) - NBR NM 46	0,0
ABSORÇÃO DE ÁGUA (%) - NBR NM 30	NÃO APLICADO
MASSA ESPECÍFICA REAL (kN/m³) - NBR 9776	2,61
IMPUREZAS ORGÂNICAS - NBR 7220	NÃO APLICADO
MASSA UNITÁRIA (kg/dm³) - NBR NM 45	1,5
CLASSIFICAÇÃO DO AGREGADO	AREIA MÉDIA



OBS.:	* PENEIRAS DA SÉRIE INTERMEDIÁRIA.

ENGENHEIRO RESPONSÁVEL: / /

11 ANEXO B – AGREGADO GRAÚDO - BRITA NATURAL

CONCRELAB	DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO GRAÚDO ABNT NBR NM 248:2003	Nº DOC. : DATA : FOLHA.: *01/01* REVISÃO: *00*

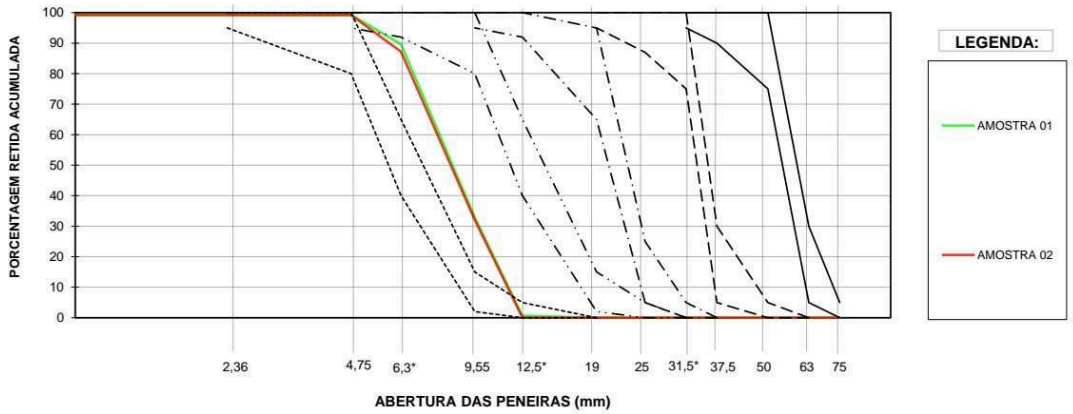
CLIENTE:	INSTITUTO FEDERAL DA BAHIA
OBRA :	TCC DE ISMAEL E ALEFI

LOCAL DAS AMOSTRAS:				
	AM.1	AGREGADO RECICLADO 40 MPA	AMOSTRA 1 (g):	1000
	AM.2	AGREGADO RECICLADO 40 MPA	AMOSTRA 2 (g):	1000

PENEIRA COM ABERTURA	MATERIAL RETIDO						LIMITES DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO GRAÚDO - NBR 7211									
	PESO (g)		%		ACUMULADO (%)		ZONA GRANULOMÉTRICA									
(mm)	AM.1	AM.2	AM.1	AM.2	AM.1	AM.2	4.75/12.5		9.5/25		19/31.5		25/50		37.5/75	
75	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0									0	-5
63*	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0									5	-30
50*	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0							0	-5	75	-100
37,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0							5	-30	90	-100
31,5*	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0					0	-5	75	-100	95	-100
25*	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0			0	-5	5	-25	87	-100		
19	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0			2	-15	65	-95	95	-100		
12,5*	7,0	0,0	0,7	0,0	1	0	0	-5	40	-65	92	-100				
9,55	322,0	320,0	32,2	32,0	33	32	2	-15	80	-100	95	-100				
6,3*	567,0	551,0	56,7	55,2	90	87	40	-65	92	-100						
4,75	97,0	120,0	9,7	12,0	99	99	80	-100	95	-100						
2,36	0,0	0,0	0,0	0,0	99	99	95	-100								
1,18	0,0	0,0	0,0	0,0	99	99										
0,60	0,0	0,0	0,0	0,0	99	99										
0,30	0,0	0,0	0,0	0,0	99	99										
0,150	0,0	0,0	0,0	0,0	99	99										
0,075	0,0	0,0	0,0	0,0	99	99										
FUNDO-PÓ	7,0	8,0	0,7	0,8	100	100										
MASSA FINAL	1000,0	999,0	100,0	100,0	-	-										
MASSA INICIAL	1000,0	1000,0	-	-	-	-										

CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO	AM. 01	AM. 02	AM. 03	AM. 04	AM. 05
MÓDULO DE FINURA - NBR 7211	7,28	7,26			
DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA (mm) - NBR 7211	9,55	9,55			
TEOR DE MATERIAIS PULVERULENTOS (%) - NBR NM 46	0,7	0,8			
MASSA ESPECÍFICA DO AGREGADO SECO (g/cm³) - NBR NM 53	2,78	2,78			
ABSORÇÃO DE ÁGUA (%) - NBR NM 53	1,00	1,00			
MASSA UNITÁRIA (kg/dm³) - NBR NM 45	1,50	1,50			
CLASSIFICAÇÃO DA AMOSTRA:	B0	B0			

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBSERVAÇÕES:	* PENEIRAS DA SÉRIE INTERMEDIÁRIA.

ENGENHEIRO RESPONSÁVEL:	/ /

12 ANEXO C – AGREGADO GRAÚDO - RECICLADO 30 MPa

CONCRELAB	DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO GRAÚDO ABNT NBR NM 248:2003	Nº DOC. : DATA : FOLHA.: 01/01 REVISÃO: 00

CLIENTE: INSTITUTO FEDERAL DA BAHIA

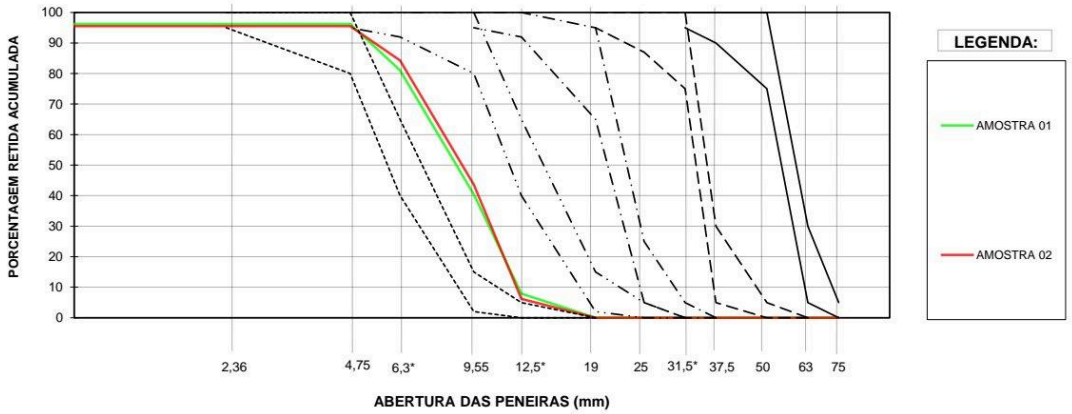
OBRA : TCC DE ISMAEL E ALEFI

LOCAL DAS AMOSTRAS:				
	AM.1	AGREGADO RECICLADO 30 MPA	AMOSTRA 1 (g):	1466
	AM.2	AGREGADO RECICLADO 30 MPA	AMOSTRA 2 (g):	1477

PENEIRA COM ABERTURA	MATERIAL RETIDO						LIMITES DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO GRAÚDO - NBR 7211									
	PESO (g)		%		ACUMULADO (%)		ZONA GRANULOMÉTRICA									
(mm)	AM.1	AM.2	AM.1	AM.2	AM.1	AM.2	4.75/12.5		9.5/25		19/31.5		25/50		37.5/75	
75	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0									0	-5
63*	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0									5	-30
50*	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0							0	-5	75	-100
37,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0							5	-30	90	-100
31,5*	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0					0	-5	75	-100	95	-100
25*	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0			0	-5	5	-25	87	-100		
19	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0			2	-15	65	-95	95	-100		
12,5*	116,0	91,0	7,9	6,2	8	6	0	-5	40	-65	92	-100				
9,55	476,0	551,0	32,5	37,4	40	44	2	-15	80	-100	95	-100				
6,3*	596,0	600,0	40,7	40,7	81	84	40	-65	92	-100						
4,75	223,0	165,0	15,2	11,2	96	96	80	-100	95	-100						
2,36	0,0	0,0	0,0	0,0	96	96	95	-100								
1,18	0,0	0,0	0,0	0,0	96	96										
0,60	0,0	0,0	0,0	0,0	96	96										
0,30	0,0	0,0	0,0	0,0	96	96										
0,150	0,0	0,0	0,0	0,0	96	96										
0,075	0,0	0,0	0,0	0,0	96	96										
FUNDO-PÓ	55,0	66,0	3,8	4,5	100	100										
MASSA FINAL	1466,0	1473,0	100,0	100,0	-	-										
MASSA INICIAL	1466,0	1477,0	-	-	-	-										

CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO	AM. 01	AM. 02	AM. 03	AM. 04	AM. 05
MÓDULO DE FINURA - NBR 7211	7,14	7,12			
DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA (mm) - NBR 7211	12,5	12,5			
TEOR DE MATERIAIS PULVERULENTOS (%) - NBR NM 46	3,8	4,5			
MASSA ESPECÍFICA DO AGREGADO SECO (g/cm³) - NBR NM 53	2,63	2,63			
ABSORÇÃO DE ÁGUA (%) - NBR NM 53	6,40	6,00			
MASSA UNITÁRIA (kg/dm³) - NBR NM 45	1,39	1,39			
CLASSIFICAÇÃO DA AMOSTRA:	B0	B0			

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBSERVAÇÕES: * PENEIRAS DA SÉRIE INTERMEDIÁRIA.

ENGENHEIRO RESPONSÁVEL: / /

13 ANEXO D – AGREGADO GRAÚDO - RECICLADO 40 MPa

CONCRELAB	DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO GRAÚDO ABNT NBR NM 248:2003	Nº DOC. : DATA : FOLHA.: 01/01 REVISÃO: 00

CLIENTE: INSTITUTO FEDERAL DA BAHIA

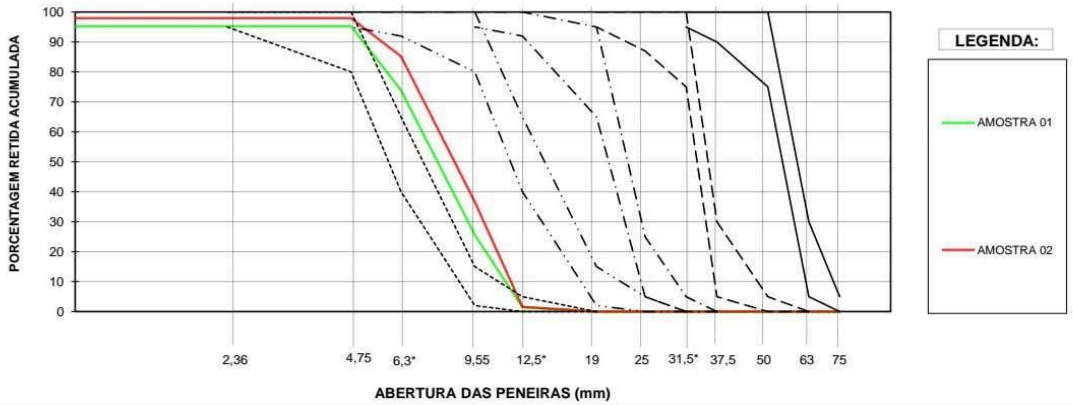
OBRA : TCC DE ISMAEL E ALEFI

LOCAL DAS AMOSTRAS:				
	AM.1	AGREGADO RECICLADO 40 MPA	AMOSTRA 1 (g):	1221
	AM.2	AGREGADO RECICLADO 40 MPA	AMOSTRA 2 (g):	1223

PENEIRA COM ABERTURA	MATERIAL RETIDO						LIMITES DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO GRAÚDO - NBR 7211									
	PESO (g)		%		ACUMULADO (%)		ZONA GRANULOMÉTRICA									
(mm)	AM.1	AM.2	AM.1	AM.2	AM.1	AM.2	4.75/12.5		9.5/25		19/31.5		25/50		37.5/75	
75	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0									0	-5
63*	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0									5	-30
50*	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0							0	-5	75	-100
37,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0							5	-30	90	-100
31,5*	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0					0	-5	75	-100	95	-100
25*	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0			0	-5	5	-25	87	-100		
19	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0			2	-15	65	-95	95	-100		
12,5*	18,0	19,0	1,5	1,6	1	2	0	-5	40	-65	92	-100				
9,55	295,0	429,0	24,2	35,1	26	37	2	-15	80	-100	95	-100				
6,3*	589,0	594,0	48,2	48,6	74	85	40	-65	92	-100						
4,75	261,0	156,0	21,4	12,8	95	98	80	-100	95	-100						
2,36	0,0	0,0	0,0	0,0	95	98	95	-100								
1,18	0,0	0,0	0,0	0,0	95	98										
0,60	0,0	0,0	0,0	0,0	95	98										
0,30	0,0	0,0	0,0	0,0	95	98										
0,150	0,0	0,0	0,0	0,0	95	98										
0,075	0,0	0,0	0,0	0,0	95	98										
FUNDO-PÓ	58,0	25,0	4,8	2,0	100	100										
MASSA FINAL	1221,0	1223,0	100,0	100,0	-	-										
MASSA INICIAL	1221,0	1223,0	-	-	-	-										

CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO	AM. 01	AM. 02	AM. 03	AM. 04	AM. 05
MÓDULO DE FINURA - NBR 7211	6,92	7,22			
DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA (mm) - NBR 7211	9,55	9,55			
TEOR DE MATERIAIS PULVERULENTOS (%) - NBR NM 46	4,8	2,0			
MASSA ESPECÍFICA DO AGREGADO SECO (g/cm³) - NBR NM 53	2,50	2,50			
ABSORÇÃO DE ÁGUA (%) - NBR NM 53	5,20	5,40			
MASSA UNITÁRIA (kg/dm³) - NBR NM 45	1,34	1,34			
CLASSIFICAÇÃO DA AMOSTRA:	B0	B0			

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBSERVAÇÕES: * PENEIRAS DA SÉRIE INTERMEDIÁRIA.

ENGENHEIRO RESPONSÁVEL: / /