



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO PIAUÍ
CAMPUS POETA TORQUATO NETO
CENTRO DE TECNOLOGIA E URBANISMO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Érico Mendes Vieira

INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE CAREPA NA RESISTÊNCIA
À COMPRESSÃO DO CONCRETO

TERESINA

2025

Érico Mendes Vieira

INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE CAREPA NA RESISTÊNCIA
À COMPRESSÃO DO CONCRETO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil da
Universidade Estadual do Piauí como
requisito para obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Civil.

Orientadora: Dra. Yáscara Lopes de Oliveira

Teresina

2025

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder saúde física e mental para concluir esta importante etapa da minha vida. Aos meus familiares — meu pai, minha mãe e meus irmãos — expresso minha profunda gratidão pelo apoio incondicional, incentivo constante e por acreditarem em mim ao longo de toda a trajetória acadêmica.

À Professora Dra. Yáscara Lopes de Oliveira, minha orientadora, agradeço pela excelente orientação, pela disponibilidade, pela paciência e por contribuir de forma decisiva para a realização deste trabalho. À Universidade Estadual do Piauí – UESPI e a todo o seu corpo docente, registro meu agradecimento pela formação recebida e pela cessão do Laboratório de Construção Civil para a execução das etapas experimentais deste estudo.

Agradeço também aos membros da banca examinadora, Professor MSc. Alisson Rodrigues de Oliveira Dias e Professora Dra. Paulysendra Felipe Silva, pelas valiosas contribuições, sugestões e pela disponibilidade em participar deste momento tão importante. Por fim, deixo meu sincero agradecimento aos colegas de turma, que estiveram ao meu lado durante essa jornada, compartilhando desafios, aprendizados e conquistas que levarei para a vida.

RESUMO

Carepa é um coproduto oriundo da oxidação da superfície do aço quando passa por aquecimento, resfriamento, tratamento de superfície e/ou ação do tempo (oxidação). (Cunha, 2006). Este estudo investiga a influência da adição da carepa de aço, um coproduto da indústria siderúrgica classificado como resíduo perigoso (Classe I) pela NBR 10004 (2020), nas propriedades do concreto de cimento Portland, com o objetivo de analisar o seu potencial de reutilização na construção civil e reduzir o consumo de bens naturais. A metodologia adotada foi experimental, baseada na moldagem e rompimento de corpos de prova cilíndricos com a adição de carepa em concentrações crescentes (0%, 1,5%, 3%, 5% e 6%) em relação à massa de materiais sólidos. Ensaios de caracterização (granulometria, índice de vazios e absorção de água) e ensaios mecânicos de resistência à compressão aos 7 e 28 dias foram realizados em conformidade com as normas técnicas pertinentes. Os resultados indicaram que o aumento da carepa no traço elevou o índice de vazios e a absorção de água do concreto endurecido, passando de 13,82% a 18,35%. A conclusão principal revelou que, nas concentrações testadas, a adição da carepa de aço reduziu significativamente a resistência à compressão característica do concreto (cerca de 25% a 30% de declínio) em comparação com o traço de referência.

Palavras-chave: Concreto. Carepa de aço. Granulometria. Ensaio de compressão.

ABSTRACT

Scale is a coproduct generated by the oxidation of the steel surface during heating, cooling, surface treatment, and/or exposure to time (oxidation) (Cunha, 2006). This study investigates the influence of adding steel scale—a coproduct of the steel industry classified as hazardous waste (Class I) by ABNT NBR 10004 (2020)—on the properties of Portland cement concrete, with the aim of assessing its potential for reuse in civil construction and reducing the consumption of natural resources. The methodology adopted was experimental, based on the casting and compressive testing of cylindrical concrete specimens with the addition of steel scale at increasing concentrations (0%, 1.5%, 3%, 5%, and 6%) relative to the mass of solid materials. Characterization tests (particle size distribution, void index, and water absorption) and mechanical compressive strength tests at 7 and 28 days were carried out in accordance with the relevant technical standards. The results indicated that increasing the steel scale content in the mix design led to higher void index and water absorption in the hardened concrete, rising from 13.82% to 18.35%. The main conclusion revealed that, at the concentrations tested, the incorporation of steel scale significantly reduced the characteristic compressive strength of the concrete (approximately a 25% to 30% decrease) compared to the reference mix.

Keywords: Concrete. Steel scale. Particle size distribution. Compression test.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Quantidades utilizadas de finos.....	21
Figura 2 – Peneiras granulométricas utilizadas.....	22
Figura 3 – Exemplo de Slump test realizado.....	23
Figura 4 – Moldagem dos corpos de prova em A, e cura em B.....	24
Figura 5 – Balança para pesagem do corpo de prova.....	24
Figura 6 – Estufa e parâmetros utilizados.....	25
Figura 7 – Retifica e prensa utilizadas.....	25
Figura 8 – Resultado do ensaio de compressão M0 aos 7 dias.....	29
Figura 9 – Anexo materiais utilizados.....	37
Figura 10 – Anexo quantitativos de carepa utilizados.....	38
Figura 10 – Anexo processo de moldagem.....	39
Figura 11 – Anexo Slump test.....	41
Figura 12 – Anexo Ensaio de compressão.....	42

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Top 10 países produtores de aço em 2024.....	12
Gráfico 2 - Disposição de consumo de produtos siderúrgicos no Brasil.....	13
Gráfico 3 - Consumo aparente de cimento no Brasil.....	16
Gráfico 4 – Curva granulométrica da areia.....	26
Gráfico 5 – Curva granulométrica carepa.....	27
Gráfico 6 – Resultado de resistência à compressão utilizando carepa.....	30

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Produção e reaproveitamento de resíduos e coprodutos do aço no período de 2021 a 2023.....	14
Quadro 2 – Designação normalizada, sigla e classe do cimento Portland.....	15
Quadro 3 – Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo	17
Quadro 4 – Limites da composição granulométrica do agregado graúdo.....	17
Quadro 5 – Esquematização para modelagem dos corpos de prova.....	20

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Traços de concreto utilizando cimento CP-II-E-32.....	19
Tabela 2 – Valores calculados para moldagem dos corpos de prova.....	20
Tabela 3 – Granulometria da areia.....	25
Tabela 4 – Granulometria carepa.....	26
Tabela 5 - Ensaio de absorção e índice de vazios a 7 dias.....	27
Tabela 6 - Ensaio de absorção e índice de vazios a 28 dias.....	27
Tabela 7 – Rompimento dos corpos de prova.....	29

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas e Técnicas

cm – Centímetro

CP – Corpo de Prova

dm³ – Decímetro Cúbico

DMC – Dimensão Máxima Característica

kg – Quilograma

l – Litro

MF – Módulo de Finura

mm – Milímetro

MPa – Mega Pascal

NBR – Norma Brasileira

SNIC – Sindicato Nacional da Indústria do Cimento

w – Watts

LISTA DE SÍMBOLOS

% - Porcentagem

σ - Tensão

Sumário

1.0 INTRODUÇÃO	13
1.2 Objetivos	14
1.2.1 Objetivo Geral.....	14
1.2.2 Objetivos Específicos	14
1.3 Justificativa.....	14
1.4 Metodologia.....	14
2.0 REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1 Contextualização	15
2.1.1 Cenário Mundial da Indústria Siderúrgica	15
2.1.2 Cenário Nacional da Indústria Siderúrgica	16
2.1.3 Resíduos industriais no Brasil	16
2.2 Concreto	17
2.2.1 Definição.....	17
2.2.2 Componentes.....	18
2.3 Aditivos Plastificantes	21
2.4 Carepa de aço	21
2.5 Traço	22
3.0 ENSAIOS LABORATORIAIS.....	23
3.1 Planejamento.....	23
3.2 Ensaio de Granulometria	24
3.3 Materiais e Métodos	25
3.4 Ensaio de índice de vazios e absorção da água.....	27
3.5 Rompimento dos corpos de prova	28
4.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
4.1 Granulometria.....	29
4.2 Ensaio de Absorção e Índice de Vazios	31
4.3 Rompimento dos corpos de prova	32
5.0 CONCLUSÃO	35
5.1 Pesquisas Futuras	36
6.0 REFERÊNCIAS.....	37
APÊNDICE.....	39

1.0 INTRODUÇÃO

Resíduos são materiais decorrentes de atividades antrópicas, geradas como sobra de processos ou aqueles que não possam ser utilizados com a finalidade para as quais foram originalmente produzidos. (NBR 10004;2020). Um desses resíduos dirige o estudo do presente material utilizado para realização deste trabalho: a carepa de aço.

O uso de adições minerais ou aditivos químicos na mistura do concreto tem como finalidade melhorar as características de resistência mecânica, durabilidade, aparência e impermeabilidade, como também evitar efeitos indesejáveis como segregação, fissuramento e bolhas. Uma alternativa para a redução da permeabilidade da água no concreto é o uso de adições minerais que dificultam o deslocamento do líquido (Coelho,2016)

Na indústria siderúrgica, a carepa é um problema por se tratar de um resíduo industrial, ou seja, seu descarte deve obedecer às normas ambientais vigentes dependendo da classificação residual (NBR 10004;2020).

As práticas realizadas em laboratório de materiais de construção são de grande importância para se conhecer as propriedades físicas e mecânicas dos materiais tradicionais [...] também é necessário verificar as características dos materiais alternativos [...] utilizados em substituição aos materiais tradicionais. (LINTZ; DOLIVEIRA; FLORES, 2015, p. 12)

A presente monografia é a continuação de pesquisas realizadas no artigo de (Mendes et al, 2025) na disciplina de Tecnologia do Concreto, servindo, portanto, como extensão e aprofundamento dos resultados obtidos. Pretende-se fixar quantidades de areia, brita e cimento, aumentar gradualmente o teor de carepa de aço e analisar o comportamento, principalmente no que se refere à resistência à compressão do concreto endurecido, resultante deste processo. O estudo foi realizado na cidade de Teresina-PI, com a parte prática tendo duração em torno de 2 meses.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar o aumento de ganho de resistência à compressão do concreto devido à adição de carepa de aço (referência, 1,5%, 3%, 5%, 6%)

1.2.2 Objetivos Específicos

- Definir as características granulométricas da areia e da carepa de aço;
- Realizar o ensaio de massa específica, índice de vazios e absorção da água (NBR 9778: 2005);
- Analisar e discutir a resistência dos corpos de prova, pontuando seu rompimento aos 7 e 28 dias.

1.3 Justificativa

O Trabalho tem por finalidade abordar tanto o aspecto acadêmico como o ambiental, conciliando a execução prática de conceitos obtidos ao longo do curso em laboratório com a utilização de um resíduo sólido proveniente da indústria siderúrgica remanejado para a construção civil, de modo a reduzir o consumo de bens naturais.

Deste modo, servirá de alternativa para o descarte da produção residual de carepa de aço do setor em questão que, por vezes, não tem destinação adequada, promovendo a reutilização do material supracitado.

1.4 Metodologia

A metodologia do trabalho realizou-se, inicialmente, com a revisão bibliográfica do tema, em livros, artigos, revistas e normas. No segundo momento, foi realizada a elaboração de ensaios laboratoriais com a finalidade de analisar o comportamento da resistência do material mediante a introdução de teores crescentes de carepa de aço para que, em seguida, fossem moldados e rompidos corpos de prova de concreto e então, a partir dos resultados, se analisasse a viabilidade do uso em uma escala maior.

2.0 REFERENCIAL TEÓRICO

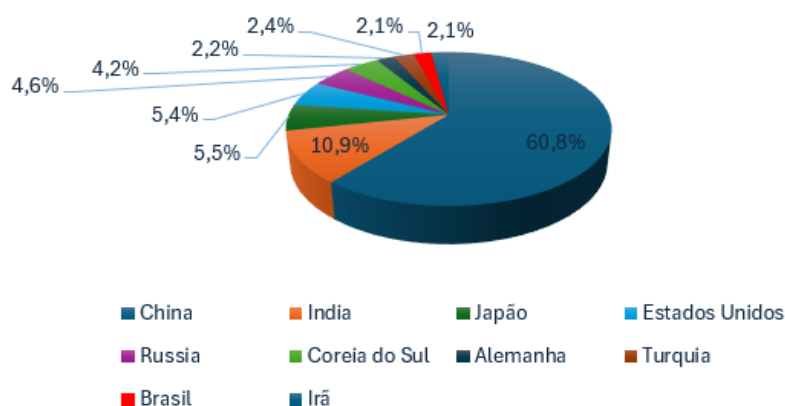
2.1 Contextualização

2.1.1 Cenário Mundial da Indústria Siderúrgica

O aço está presente em nosso cotidiano, desde edifícios e veículos até a lata que conserva alimentos com segurança por meses ou anos. Sua produção consome muita energia. No entanto, uma vez produzido, o aço pode ser reutilizado inúmeras vezes. Com uma taxa de recuperação global de mais de 70%, o aço é o material mais reciclado do planeta. Além disso, 97% dos subprodutos da fabricação de aço também podem ser reutilizados. Por exemplo, a escória de siderúrgicas é frequentemente usada para fabricar concreto. (WordSteal Association,2023, adaptado)

O Gráfico 1 elenca os 10 países com a maior produção de aço do mundo no ano de 2024

Gráfico 1 – Top 10 países produtores de aço em 2024



Fonte: Wordsteel Association 2024. Adaptado

Hoje, os fabricantes de aço sabem como combinar a mistura exata de ferro, uma pequena porcentagem de carbono e outros oligoelementos para produzir centenas de tipos de aço. Estes são então laminados, recozidos e revestidos para fornecer propriedades personalizadas para inúmeras aplicações. (WordSteal Association 2023, adaptado)

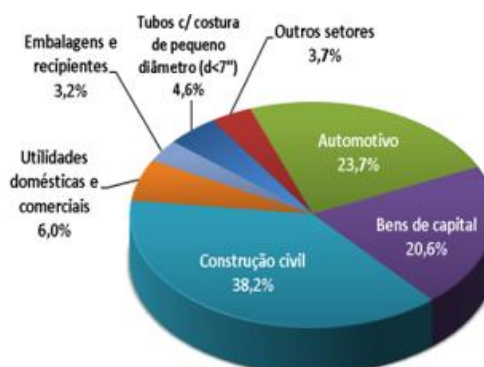
2.1.2 Cenário Nacional da Indústria Siderúrgica

A produção nacional de aço bruto alcançou 788 mil toneladas e tinha início uma fase de crescimento continuado da produção do aço no Brasil. Dez anos depois, a produção triplicava e passados mais dez anos, em 1970, eram entregues ao mercado 5,5 milhões de toneladas. Atualmente, este número chega a 33,7 milhões de toneladas. (Instituto aço Brasil, 2024)

O Brasil tem hoje o maior parque industrial de aço da América do Sul; é o maior produtor da América Latina e ocupa o décimo terceiro como exportador líquido de aço e nono como produtor de aço no mundo. (Instituto aço Brasil, 2024)

Ademais, a indústria siderúrgica abastece os mais diversos setores. O Gráfico 2 apresenta a utilização de produtos Siderúrgicos no cotidiano nacional.

Gráfico 2 - Disposição de consumo de produtos siderúrgicos no Brasil



Fonte: Instituto Aço Brasil, 2022

2.1.3 Resíduos industriais no Brasil

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída em 2010, define resíduos sólidos como material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água. (PNRS, 2010)

Conforme constatado no Quadro 1, foram gerados nos anos de 2021 a 2023, respectivamente, 602, 623 e 662 kg de coprodutos e resíduos por tonelada de aço bruto produzido, respectivamente. Concomitantemente, no mesmo período, houve um reaproveitamento de 97%, 104% e 102% do mesmo material. (O excedente demonstra o reaproveitamento de estoque). (Instituto Aço Brasil,2024)

Quadro 1 – Produção e reaproveitamento de resíduos e coprodutos do aço no período de 2021 a 2023.

Especificação	Ano		
	2021	2022	2023
Geração específica de coprodutos e resíduos (kg/t aço bruto)	602	623	662
Reaproveitamento (%)	97%	104%	102%

Fonte: Instituto aço Brasil.2024. Adaptado

Os dados observados acima salientam a crescente preocupação com a correta reutilização desses resíduos.

2.2 Concreto

2.2.1 Definição

O **concreto** é um material resultante da mistura de cimento, agregados miúdos (areia), agregados graúdos (brita ou seixo rolado) e água, podendo conter aditivos e adições minerais. Após a mistura e o lançamento, a massa fresca endurece por meio do processo de hidratação do cimento, adquirindo resistência mecânica e durabilidade, o que o torna um dos materiais mais utilizados na construção civil. (NBR 12655,2015)

2.2.2 Componentes

2.2.2.1 Cimento Portland

Por definição, cimento Portland consiste em ligante hidráulico obtido, pela moagem de clínquer Portland (produto intermediário, composto em sua maior parte por silicatos de cálcio), ao qual se adiciona, durante a fabricação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio e adições minerais nos teores estabelecidos por norma. (NBR 16697:2018).

Em relação aos tipos de cimento Portland, a norma supracitada também engloba os existentes no âmbito nacional, conforme o Quadro 2:

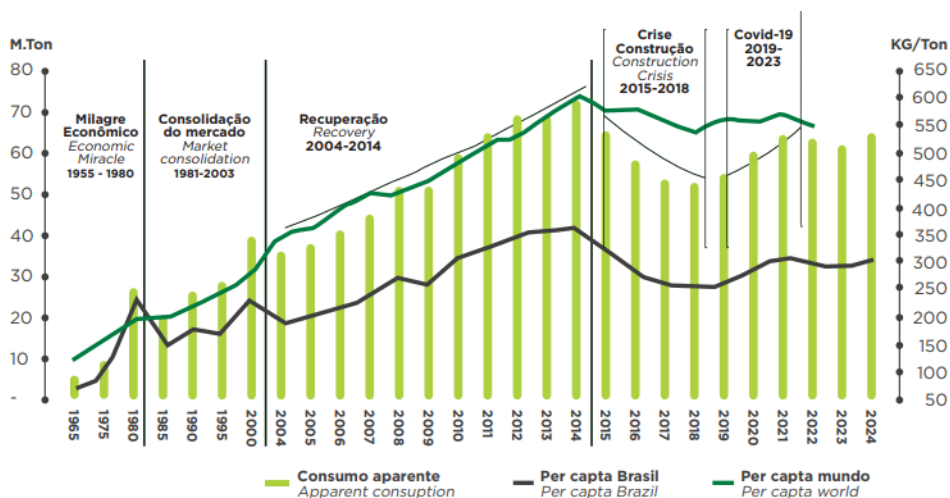
Quadro 2 – Designação normalizada, sigla e classe do cimento Portland

Designação normalizada (tipo)	Subtipo	Sigla	Classe de resistência	Sufixo
Cimento Portland Comum	Sem adição	CP I	25,32 ou 40	RS ou BC
	Com adição	PCI - S		
Cimento Portland composto	Com escória granulada de alto forno	CP II-E		
	Com material carbonático	CP II-F		
	Com material pozolânico	CP II-Z		
Cimento Portland de alto-forno		CP III		
Cimento Portland pozolânico		CP IV		
Cimento Portland de alta resistência inicial		CP V	ARI	
Cimento Portland branco	Estrutural	CPB	25,32 ou 40	
	Não estrutural	CPB		

Fonte: NBR16697. Rio de janeiro, 2018. Adaptado

O consumo de cimento, totalizou 64,7 milhões de toneladas em 2024, uma alta de 4,1% sobre o ano anterior, ou seja, um incremento de 2,5 milhão de toneladas. A atividade voltou a crescer após registrar quedas anuais consecutivas, -2,7% em 2022 e -0,9%, em 2023. (SNIC – 2024)

Gráfico 3 - Consumo aparente de cimento no Brasil



Fonte: Sindicato Nacional da Indústria do Cimento-SNIC. São Paulo, 2024

2.2.2.2 Agregados

Agregado graúdo é aquele cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha 75mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75mm. Os agregados miúdos, por sua vez, passam pela peneira com abertura e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm. (NBR 7211:2020)

Nesse sentido, destaca-se, para obtenção de concreto, a areia como agregado miúdo e, nessa pesquisa, a brita como agregado graúdo. A areia pode ser classificada de acordo com seu módulo de finura, podendo ser fina ($MF < 2,40$), média ($2,4 < MF < 3,9$), e grossa ($MF > 3,9$). (Almeida e Luiz, 2012)

Nos Quadros 3 e 4, observa-se a classificação destes dois materiais:

Quadro 3 – Limites da distribuição 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	65	90	95	100

NOTA 1 O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20

NOTA 2 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90

NOTA 3 O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50

Fonte: NBR 7211. Rio de Janeiro.2022

Quadro 4 – 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				
	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	—	—	—	—	75 - 100
37,5 mm	—	—	—	0 - 5	90 - 100
31,5 mm	—	—	0 - 5	5 - 30.	95 - 100
25 mm	—	0 - 5	5 - 25.	75 -100	—
19 mm	—	2 - 15.	65 - 95	87 -100	—
12,5 mm	0 - 5	40 - 65	92 - 100	95 - 100	—
9,5 mm	2 - 15.	80 - 100	95 - 100	—	—
6,3 mm	40 - 65	92 - 100	—	—	—
4,75 mm	80 - 100	95 - 100	—	—	—
2,36 mm	95 - 100	—	—	—	—

Fonte: NBR 7211. Rio de Janeiro.2022

2.3 Aditivos Plastificantes

Aditivo para concreto consiste em produto adicionado e misturado no concreto, em quantidade geralmente não superior a 5% da massa de ligante total contida no concreto, com o objetivo de modificar suas propriedades no estado fresco e/ou no estado endurecido (NBR 11768-1:2019). O presente estudo utilizou para aditivo, redutor de água, este podendo ser de dois tipos previstos por norma:

Redutor de água tipo 1 (RA1): aditivo que, sem modificar a consistência do concreto, permite reduzir o conteúdo de água; ou que, sem alterar a quantidade de água, modifica a consistência do concreto, aumentando o abatimento e a fluidez; ou, ainda, aditivo que produz esses dois efeitos simultaneamente. (NBR 11768-1:2019).

Redutor de água tipo 2 (RA2): aditivo que, sem modificar a consistência, permita maior redução de água no concreto quando comparado ao redutor de água tipo 1-RA1; ou que, sem alterar a quantidade de água, aumenta consideravelmente o abatimento e a fluidez do concreto; ou, ainda, aditivo que produz esses dois efeitos simultaneamente. (NBR 11768-1:2019).

2.4 Carepa de aço

Carepa é um coproduto oriundo da oxidação da superfície do aço quando passa por aquecimento, resfriamento, tratamento de superfície e/ou ação do tempo (oxidação). (Cunha, 2006). A carepa é constituída basicamente por óxidos de ferro na forma de Fe^{+2} (FeO – wustita), Fe^{+3} (Fe_2O_3 – hematita) e Fe_3O_4 – magnetita (CUNHA et al., 2006a, MARTINS, 2006 e PANNONI, 2007). A presença de óxidos, normalmente, é superior a 90 % (MEDEIROS et al., 2010)

A complexa tarefa de laminação de lingotes ou placas começa com o "desbaste". Rolos gigantes realizam diversas passagens para reduzir a espessura do material – por exemplo, reduzindo uma placa de cerca de 240 mm para 55 mm ou menos. Em seguida, vêm inúmeras etapas de laminação de acabamento antes do rebobinamento. O material pode então passar por diversas etapas, sendo uma delas a decapagem para remover a carepa, seguida pela laminação a frio. (WordSteal Association 2023, adaptado)

2.5 Traço

Traço ou composição refere-se a quantidades expressas, em massa ou volume, dos vários componentes do concreto. O traço pode ser expresso em quantidades de materiais por metro cúbico de concreto. (NBR 12655,2015)

O traço utilizado no presente trabalho teve como base o artigo “Traços de concreto para obras de pequeno porte” (Barboza e Bastos, 2012), estudo realizado com o fim de elaborar traços de concretos ideais testados em diferentes obras. Foi feita uma relação entre os quantitativos de cimento, agregados, aditivo, água e o respectivo resultado esperado a 3, 7 e 28 dias, em MPA, para o concreto produzido, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Traços de concreto utilizando cimento CP-II-E-32

Resistência de Dosagem Esperada (MPa) na Idade (dias)			TRAÇO EM MASSA										TRAÇO EM VOLUME										TRAÇO PARA UM SACO DE CIMENTO (50 kg)			
			Para 1 kg de cimento				Para 1 metro cúbico						Para 1 kg de cimento				Para 1 metro cúbico									
			Areia (kg)	Pedra (kg)	a/c	Aditivo (%) ⁽¹⁾	Cimento (kg)	Areia (kg)	Pedra (kg)	Água (kg)	Aditivo (kg)	Areia (ℓ)	Pedra (ℓ)	a/c	Aditivo (%) ⁽¹⁾	Cimento (kg)	Areia (ℓ)	Pedra (ℓ)	Água (ℓ)	Aditivo (ℓ)	Areia (lata ⁽²⁾)	Pedra (lata ⁽²⁾)	Água (lata ⁽²⁾)	Aditivo (ml)		
3	7	28	3,85	3,66	0,85	1,5	239	919	874	203	3,6	2,65	2,30	0,85	1,5	239	634	550	203	3,0	7,4	6,4	2,4	630		
6	10	20	3,39	3,31	0,73		269	912	891	196	4,0	2,34	2,08	0,73		269	629	560	196	3,4	6,5	5,8	2,0			
8	14	25	3,10	3,10	0,65		292	906	904	190	4,4	2,14	1,95	0,65		292	625	569	190	3,7	5,9	5,4	1,8			
10	16	30	2,85	2,90	0,58		317	903	920	184	4,8	1,96	1,83	0,58		317	623	579	184	4,0	5,5	5,1	1,6			
13	20	35	2,59	2,71	0,54		344	891	932	186	5,2	1,79	1,70	0,54		344	614	586	186	4,4	5,0	4,7	1,5			
16	23	40	2,42	2,58	0,51		365	883	942	186	5,5	1,67	1,62	0,51		365	609	592	186	4,6	4,6	4,5	1,4			
20	28	45	2,25	2,45	0,48		387	870	949	186	5,8	1,55	1,54	0,48		387	600	597	186	4,9	4,3	4,3	1,3			
23	34	50	2,08	2,32	0,45	412	856	957	185	6,2	1,43	1,46	0,45	412	590	602	185	5,2	4,0	4,1	1,2					

Fonte: Fonte: Barboza, M. R. & Bastos, P. S. Unesp, 2012, adaptado.

3.0 ENSAIOS LABORATORIAIS

3.1 Planejamento

O planejamento se deu de modo que se moldou um traço por dia, com seis amostras, durante 5 dias. sendo destes, dois destinados ao ensaio de índices de vazios e absorção e quatro ao ensaio de rompimento (NBR 5739,2018), totalizando 30 corpos de prova.

Outrossim, a granulometria, moldagem, cura e ensaios de absorção foram realizados no laboratório de construção civil, cedido pela Universidade Estadual do Piauí – UESPI, e o posterior rompimento foi realizado em uma empresa concreteira local, ambos localizados na cidade de Teresina, estado do Piauí.

Segundo (MENDES et. Al.,2025), as amostras com porcentagens de carepa de 6% de adição apresentaram queda na resistência à compressão quando comparada com a quantidade de 3%, o que serviu de delimitação para as concentrações escolhidas neste trabalho.

As amostras foram caracterizadas com as porcentagens de acréscimo de carepa no concreto em peso, na proporção de 0%, 1,5%, 3%,5% e 6% (porcentagem em relação à soma do peso de areia, brita e cimento), onde são relacionadas com o a nomenclatura: M0; M1,5; M3; M5 e M6, respectivamente, conforme o Quadro 5.

Quadro 5 – Esquematização para modelagem dos corpos de prova

Modelagem						
Especificação	1º dia (M0)	2º dia (M1,5)	3º dia (M3)	4º dia (M5)	5º dia (M6)	Total
Rompimento 7 dias	2 cp*	2 cp*	2 cp*	2 cp*	2 cp*	10 cp*
Rompimento 28 dias	2 cp*	2 cp*	2 cp*	2 cp*	2 cp*	10 cp*
Absorção 7 dias	1 cp*	1 cp*	1 cp*	1 cp*	1 cp*	5 cp*
Absorção 14 dias	1 cp*	1 cp*	1 cp*	1 cp*	1 cp*	5 cp*
Total	6 cp*	6 cp*	6 cp*	6 cp*	6 cp*	30 cp*

cp* = corpo de prova

Fonte: Autor (2025)

Para os quantitativos, utilizou-se como referência as medições presentes em (Barboza e Bastos, 2012) gerando os valores constados na Tabela 2, o que resultou em 12,57 dm³ de concreto no estado fresco (cerca de 8 corpos cilíndricos 100mm x 200mm).

Tabela 2 – Valores calculados para moldagem dos corpos de prova

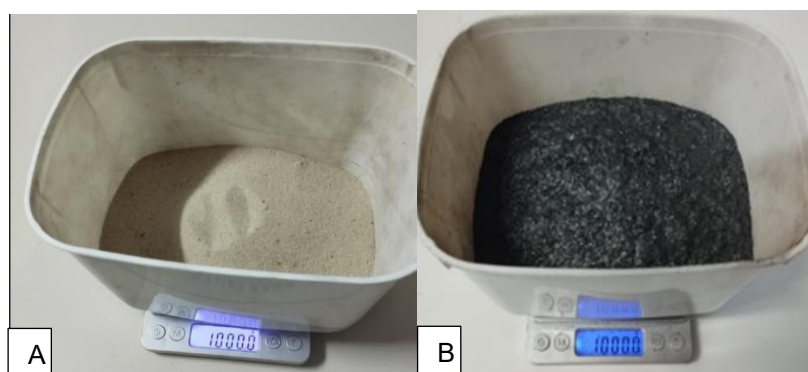
Material	M0	M1,5	M3	M5	M6	Total	Unidade
Cimento	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17	20,85	kg
Areia	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	54	kg
Brita	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	56,5	kg
Água	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	11,25	kg
Carepa	0	0,39	0,79	1,31	1,58	4,072	kg
Aditivo	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	1,95	l

Fonte: Autor

3.2 Ensaio de Granulometria

Para a realização dos ensaios de granulometria, foram usadas peneiras granulométricas em conformidade com a ABNT NBR 17054:2022— Agregados - Determinação da composição granulométrica – Método de ensaio, para determinação das propriedades granulométricas da areia e carepa, vibração manual, com quantitativos e materiais discriminados na Figura 1 e 2.

Figura 1 – Quantidades utilizadas de finos, areia em A e carepa em B.



Fonte: Autor (2025)

Figura 2 – Peneiras granulométricas utilizadas, abertura variando entre 4,75mm e 0,075 mm.



Fonte: Autor (2025)

É cabível comentar, também, que se utilizou a peneira de 0,075mm pelo fato de que a carepa utilizada se demonstrou mais fina que a areia sendo, portanto, necessária para uma proximidade maior na sua caracterização

3.3 Materiais e Métodos

Em consonância ao estudo de (Barboza e Bastos,2012), utilizou-se brita 1, com dimensão característica de 12,5 mm, bem como CP-II-E-32. Contudo, diferentemente dele, foi realizada a confecção do traço de modo manual; foi feita a utilização de areia “fina” e; foi utilizado aditivo com composição de resinato de sódio, densidade de 1,03g/cm³, em detrimento do aditivo de composição naftaleno sulfonado de 1,19 g/cm³, conforme elucidado nos APÊNDICES A e B. Embora a areia utilizada se distancie da ideal, seu uso é justificado visto que todos os traços se utilizaram de quantidades fixas de agregado, cimento e aditivo.

Também é válido ressaltar que em decorrência da utilização de uma areia alternativa à indicação, utilizou-se quantidade extra de água, sendo 0,63 l; 0,84 l; 1,25 l; 1,01l e 1,15l acrescentados aos traços dos dias 1 ao 5, respectivamente. A carepa foi obtida de uma empresa local de processamento de aço.

Concomitantemente, o Slump test foi realizado em conformidade à NBR 16889:2020 Concreto — Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, demonstrado em Figura 3, com resultados demonstrados na íntegra em APÊNDICE C, apresentando abatimento dos dias 1 ao 5, respectivamente, 13,3cm, 12,3cm; 13cm; 11,7cm e 10 cm.

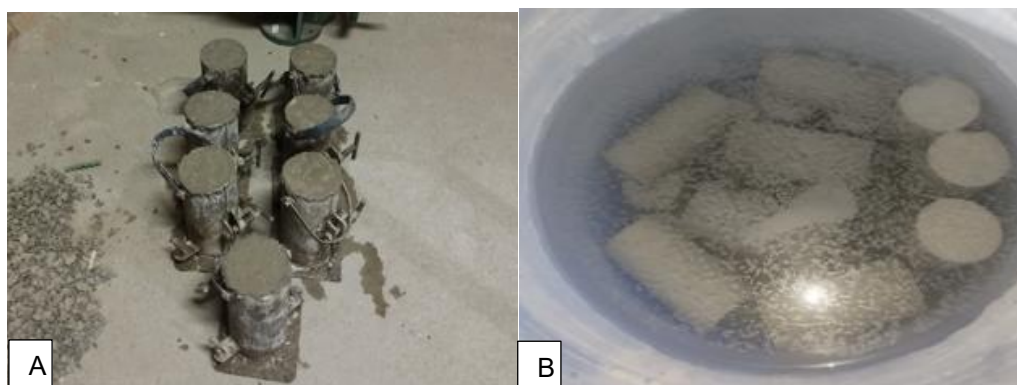
Figura 3 – Exemplo de *Slump test* realizado



Fonte: Autor

A moldagem e cura dos corpos de provas utilizados nas etapas posteriores foram feitas segundo a NBR 5738:2015 - Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova, e estes, por sua vez, são de formato cilíndrico com dimensões de 100mm de diâmetro e 200mm de altura, conforme a Figura 4.

Figura 4 – Moldagem dos corpos de prova em A, e cura em B



Fonte: Autor

3.4 Ensaio de índice de vazios e absorção da água

Este ensaio foi realizado à luz da NBR 9778:2009 – Argamassa e concreto endurecidos- determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica, com concreto moldado, com 2 exemplares de 7 e 14 dias, respectivamente, utilizados os equipamentos listados nas Figuras 3 e 4:

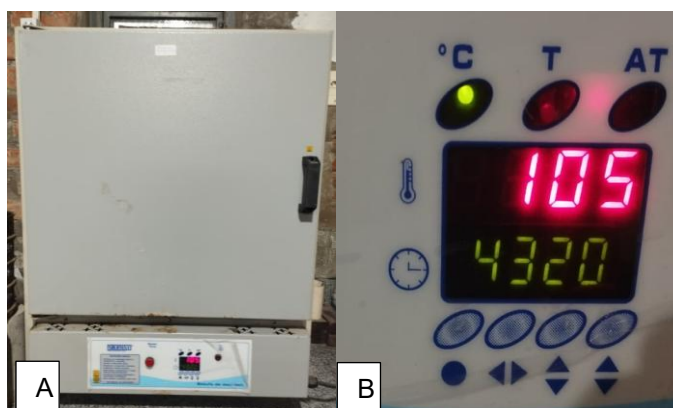
Figura 5 – Balança para pesagem do corpo de prova submerso em A, e amostra seca e saturada em B



Fonte: Autor (2025)

Ademais, fez-se necessário o uso de uma estufa para secagem das amostras, com temperatura de 105 ± 2 °C e tempo de 72 horas, conforme Figura 6, utilizando a estufa marca Solotest modelo Q317M-32 1000W.

Figura 6 – Estufa utilizada para obtenção de amostra seca em A, e parâmetros utilizados em B.

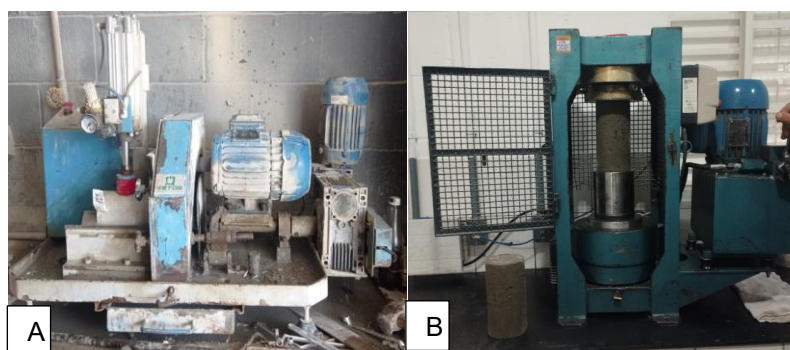


Fonte: Autor (2025)

3.5 Rompimento dos corpos de prova

Os rompimentos dos corpos de prova foram realizados em cumprimento a ABNT NBR 5739:2018 Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. É válido ressaltar que, antes do rompimento propriamente, todos os corpos de prova foram retificados para obter melhores resultados, com os equipamentos demonstrados na Figura 7:

Figura 7 – Retífica utilizada para retificar os corpos de prova em A e prensa para ensaio de compressão em B.



Fonte: Autor (2025)

4.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Granulometria

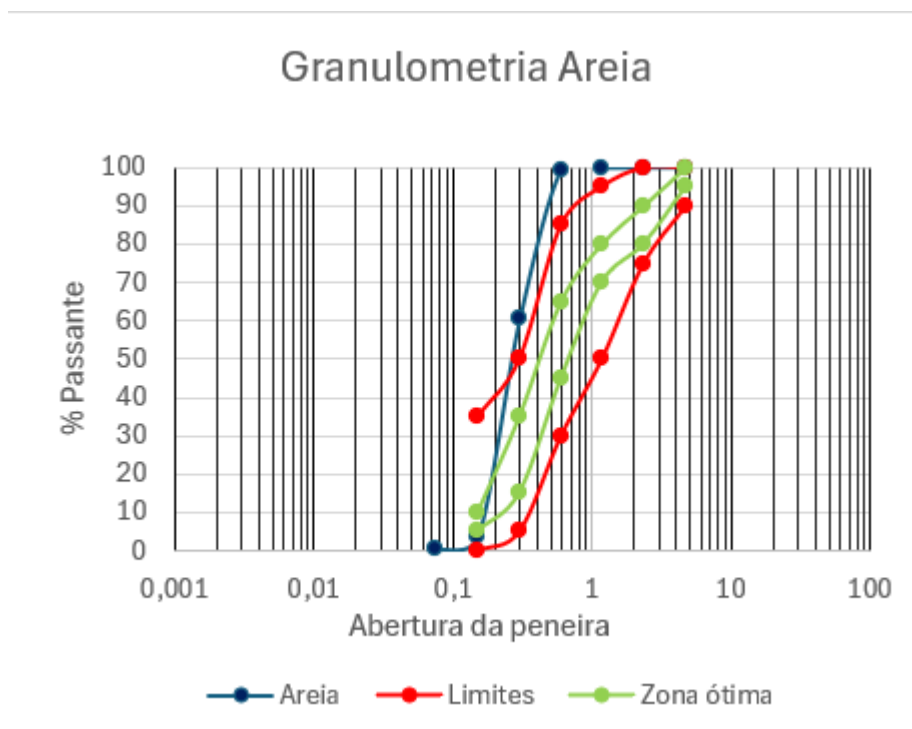
Os resultados do ensaio granulométrico estão descritos conforme a Tabela 3 e Gráfico 4, conforme a NBR 17054:2022.

Tabela 3 – Granulometria da areia (1000g)

Abertura Peneira (mm)	Massa (g)	% retido	% acum	passante
4,75	0	0	0	99,85
2,36	0	0	0	99,85
1,18	0,7	0,07	0,07	99,78
0,6	3	0,3	0,37	99,48
0,3	390,5	39,05	39,42	60,43
0,15	567,8	56,78	96,2	3,65
0,075	32,9	3,29	99,49	0,36
Fundo	3,6	0,36	99,85	0
TOTAL	998,5	99,85	99,85	

Fonte: Autor (2025)

Gráfico 4 – Curva granulométrica da areia



Fonte: Autor (2025)

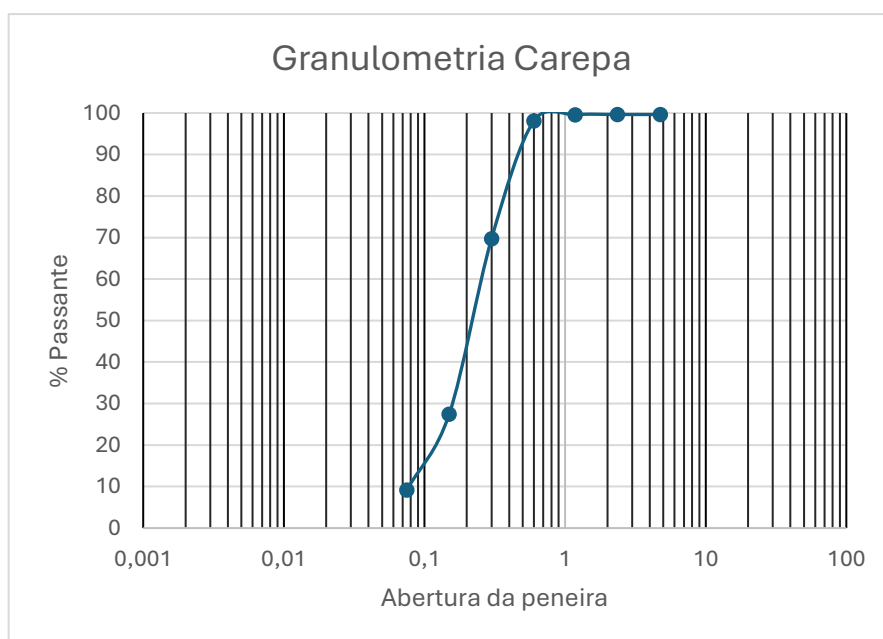
Portanto, a partir dos resultados obtidos, calculou-se a dimensão máxima característica (DMC) e módulo de finura (MF) obtendo valores, respectivamente, de 0,6 e 1,36, configurando a areia como “fina”, mas destoando dos valores ideais de módulo de finura que constam no intervalo do Quadro 3 (NBR 7211,2022).

Tabela 4 – Granulometria carepa

Abertura Peneira (mm)	Massa (g)	% retido	% acum	passante
4,75	0	0	0	99,64
2,36	0	0	0	99,64
1,18	0,4	0,04	0,04	99,6
0,6	14,7	1,47	1,51	98,13
0,3	284,1	28,41	29,92	69,72
0,15	422,5	42,25	72,17	27,47
0,075	182,7	18,27	90,44	9,2
Fundo	92	9,2	99,64	0
TOTAL	996,4	99,64	99,64	

Fonte: Autor (2025)

Gráfico 5 – Curva granulométrica carepa



Fonte: Autor (2025)

Para a carepa de aço, obteve-se os valores de dimensão máxima característica e de módulo de finura, respectivamente, 1,04 e 0,6, o que coincide com o DMC obtido na areia e, por conseguinte, gera uma mistura maior de finos ao concreto no estado endurecido.

4.2 Ensaio de Absorção e Índice de Vazios

A partir dos ensaios, foram constatados os resultados presentes nas Tabelas 5 e 6:

Tabela 5 - Ensaio de absorção e índice de vazios a 7 dias

1º Lote (7 dias)								
Traço	Dados (Kg)			Índices		Massa específica		
	Massa Seca	Massa imersa	Massa Saturada	Absorção	Índice de Vazios	Amostra seca	Amostra saturada	Real
M0	3,29	1,98	3,50	6,38	13,82	2,16	2,3	2,51
M1,5	3,30	2,00	3,55	7,58	16,13	2,13	2,29	2,54
M3	3,24	2,01	3,49	7,72	16,89	2,19	2,36	2,63
M5	3,32	2,05	3,60	8,43	18,06	2,14	2,32	2,61
M6	3,31	2,02	3,60	8,76	18,35	2,09	2,28	2,57

Fonte: Autor (2025)

Tabela 6 - Ensaio de absorção e índice de vazios a 14 dias

2º Lote (14 dias)								
Traço	Dados (Kg)			Índices		Massa específica		
	Massa Seca	Massa imersa	Massa Saturada	Absorção	Índice de Vazios	Amostra seca	Amostra saturada	Real
M0	3,55	2,05	3,60	1,41	3,23	2,29	2,32	2,37
M1,5	3,50	2,01	3,56	1,71	3,87	2,26	2,3	2,35
M3	3,48	2,02	3,55	2,01	4,58	2,27	2,32	2,38
M5	3,47	2,01	3,55	2,31	5,19	2,25	2,31	2,38
M6	3,49	2,02	3,57	2,29	5,16	2,25	2,3	2,37

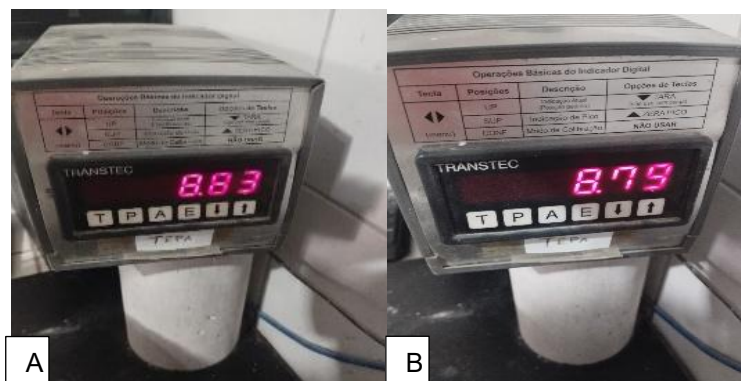
Fonte: Autor (2025)

Observa-se que, nos dois casos, conforme há o aumento gradual na adição de carepa de aço nos traços observados, houve, também, o aumento no índice de vazios nos corpos de prova que, por sua vez, estão atrelados à uma maior absorção de água. Também é possível salientar que, no tocante à massa específica, os valores dos diferentes traços se revelam estar na mesma ordem de grandeza, o que evidencia a proximidade entre a massa do material e seu volume total.

4.3 Rompimento dos corpos de prova

Através desta seção é possível observar os valores obtidos no ensaio à compressão, com valores de 7 e 28 dias, 2 amostras em cada caso. Os resultados para a elaboração da Figura 8 podem ser averiguados na íntegra em APÊNDICE D, com valores originais em toneladas.

Figura 8 – Resultado do ensaio de compressão de M0 aos 7 dias, em A e B



Fonte: autor

Para conversão dos valores de entrada em toneladas para a unidade de medida usual, em MPA, utilizou-se a Equação 1:

$$\sigma = F / A \quad (1)$$

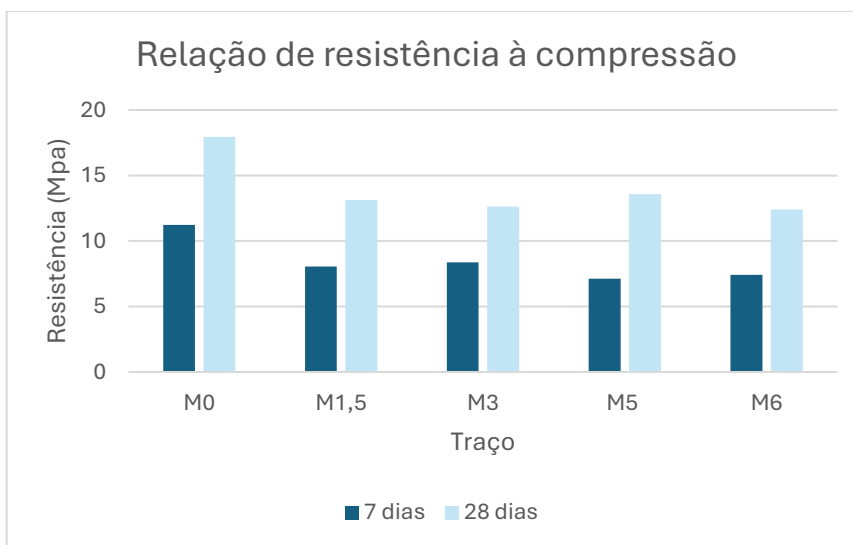
onde σ é a Tensão, p F é a força aplicada e A, a área em que a força está sendo exercida. (BEER e JOHNSTON, 2015). A partir dela, elaborou-se a Tabela 7:

Tabela 7 – Rompimento dos corpos de prova

Resistência à compressão (MPa)							
Traço	7 dias C1	7 dias C2	Média	28 dias C1	28 dias C2	Média	Aumento
M0	11,24	11,19	11,22	18,27	17,6	17,94	59,89%
M1,5	7,95	8,14	8,05	12,97	13,31	13,14	63,23%
M3	8,24	8,49	8,37	12,48	12,75	12,62	50,72%
M5	6,99	7,24	7,12	13,15	13,98	13,57	90,59%
M6	6,95	7,88	7,42	11,65	13,13	12,39	66,98%

Fonte: Autor (2025)

Gráfico 6 – Resultado de resistência à compressão utilizando carepa



Fonte: Autor (2025)

A validade geral da relação resistência-porosidade deve ser respeitada, pois porosidade das fases componentes do concreto tornam-se realmente limitantes da resistência. (MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M, 2014)

As misturas com agregado miúdo reciclado apresentaram resistência à compressão inferior ao traço de referência, indicando que a água de compensação utilizada nas misturas pode não se manter no interior do agregado miúdo reciclado, deslocando-se para a matriz, aumentando a relação água/cimento e tornando-a mais porosa, o que consequentemente reduz a resistência à compressão. (Malta et. Al, 2013)

Com base no exposto, é possível inferir que, a adição de carepa de aço, nas quantidades em que foram empregadas provocou um aumento na quantidade de água utilizada, aumentando o fator água/cimento, bem como aumentando gradualmente o índice de vazios presentes no concreto no estado endurecido, reduzindo a resistência à compressão do concreto.

5.0 CONCLUSÃO

No que se refere aos objetivos estabelecidos, foi possível caracterizar granulometricamente os materiais utilizados, analisar o comportamento do concreto quanto à absorção de água, índice de vazios e resistência à compressão, bem como comparar os resultados obtidos com o traço de referência.

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que a granulometria revelou que o agregado miúdo utilizado, não foi o ideal, visto que tanto a norma quanto as bibliografias consultadas indicam a “areia grossa”, aliado ao aumento de água, sendo estes os motivos da resistência à compressão dos corpos de prova, no geral, serem valores consideravelmente abaixo dos de referência;

Conforme ocorre o aumento na quantidade de carepa de aço em adição ao concreto, observa-se um declínio em sua resistência, com valores de 25 a 30% inferiores em comparação ao traço com a ausência de utilização dela;

Em relação ao concreto no estado fresco, à medida em que se adicionou o resíduo, foi necessária uma quantidade maior de água, gradualmente e, por fim, a aparência visual, cura e parâmetros de massa específica não houve mudanças significativas entre os traços moldados.

Assim, conclui-se que, embora o estudo reforce a importância de pesquisas voltadas ao reaproveitamento de resíduos industriais, a utilização da carepa de aço como adição ao concreto requer investigações adicionais, especialmente no que diz respeito ao controle granulométrico, ao teor de finos e à relação água/cimento, de modo a viabilizar tecnicamente sua aplicação na construção civil.

5.1 Pesquisas Futuras

Para futuros estudos, recomenda-se trabalhar com teores de carepa de aço inferiores às apresentadas, utilização de outros cimentos para averiguar a compatibilidade com a carepa de aço, como CII-Z e CII-F e verificação dos parâmetros de módulo de elasticidade e resistência à força de tração.

6.0 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Salvador L. M.; LUZ, Adão Benvindo da. *Manual de Agregados para Construção Civil*. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2012.

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

_____ - **ABNT NBR 5739:** *Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 2018

_____ - **ABNT. NBR 7211:** *Agregados para concreto — Requisitos*. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

_____ - **ABNT NBR 9778:** *Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica*. Rio de Janeiro, 2009.

_____ - **ABNT NBR 10004:2020** — *Resíduos sólidos – Classificação*. Rio de Janeiro, 2020.

_____ - **ABNT NBR 11768-1:** *Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Parte 1: Requisitos*. Rio de Janeiro, 2019.

_____ - **ABNT NBR 12655:** *Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento*. Rio de Janeiro, 2015.

_____ - **ABNT NBR 16697:** *Cimento Portland – Requisitos*. Rio de Janeiro, 2018.

_____ - **ABNT NBR 16889:** *Concreto — Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone*. Rio de Janeiro, 2020.

_____ - **ABNT NBR 17054:** *Agregados – Determinação da composição granulométrica – Método de ensaio*. Rio de Janeiro, 2022.

BARBOZA, Marcos R.; BASTOS, Paulo S. *Traços de concreto para obras de pequeno porte*. Bauru: Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Engenharia de Bauru, Departamento de Engenharia Civil, 2012.

BEER, F. P.; JOHNSTON, E. R. *Mechanics of Materials*. 7. ed. New York: McGraw-Hill, 2015.

COELHO, Gustavo Martins et al. Estudo do efeito de adições minerais em concreto. 2016.

INSTITUTO AÇO BRASIL. *Livro do Aço*. Brasília, DF: Instituto Aço Brasil, 2019.

Disponível em: https://www.acobrasil.org.br/site/wp-content/uploads/2019/10/LIVRO_ACO_BX.pdf. Acesso em: 31 ago. 2025.

LINTZ, Rosa Cristina Cecche; DE OLIVEIRA, Marielly Bernini; FLORES, Isabelle Lima. *Práticas em Laboratório de Materiais de Construção e Sustentabilidade*. In: Congresso de Iniciação Científica da Unicamp, Campinas, 2015.

MALTA, J. O.; SILVA, V. S.; GONÇALVES, J. P. Argamassa contendo agregado miúdo reciclado de resíduo de construção e demolição. *Gesta: Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, v. 1, n. 2, p. 176-188, 2013.

MARTINS, F. M. *Caracterização química e mineralógica de resíduos sólidos industriais minerais do estado do Paraná*. 140 f. Dissertação (Pós-Graduação em Química). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. *Concreto: microestrutura, propriedades e materiais*. 2. ed. Rio de Janeiro: IBRACON, 2014.

PANNONI, F. D. *Coletânea do uso do aço: princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio*. GERDAU. 4. ed. 90 p, 2007.

SÍNDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. *Relatório anual 2024*. São Paulo: SNIC, 2024.

VIEIRA, Érico Mendes; LIMA, Júlia Paixão Carvalho; GUEDES, Luiz Felliipe de Sousa; SILVA, Maria Nair de Sousa; PINTO, Moacir Lima. Utilização de carepa de aço como adição no concreto: uma análise experimental. 2025. Trabalho apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Piauí, Teresina, 2025.

WORLD STEEL ASSOCIATION. *The Steel Story*. [S. l.]: World Steel Association, 2023. Disponível em: <https://worldsteel.org/wp-content/uploads/The-Steel-Story-1.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2025.

APÊNDICE

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A – Relatório fotográfico pesagem dos materiais

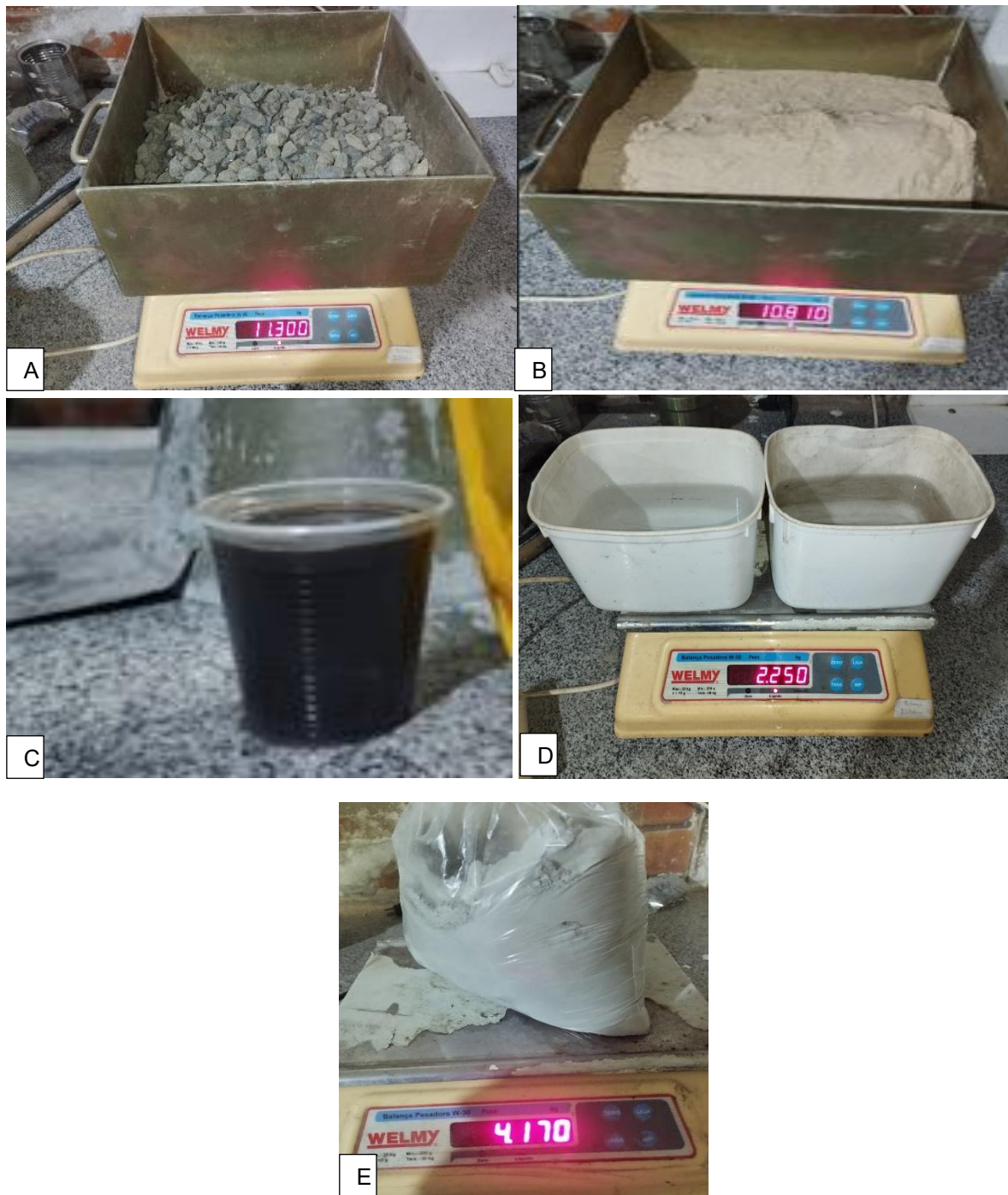
APÊNDICE B – Relatório fotográfico etapas da moldagem dos corpos de prova

APÊNDICE C – Relatório fotográfico *Slump Test*

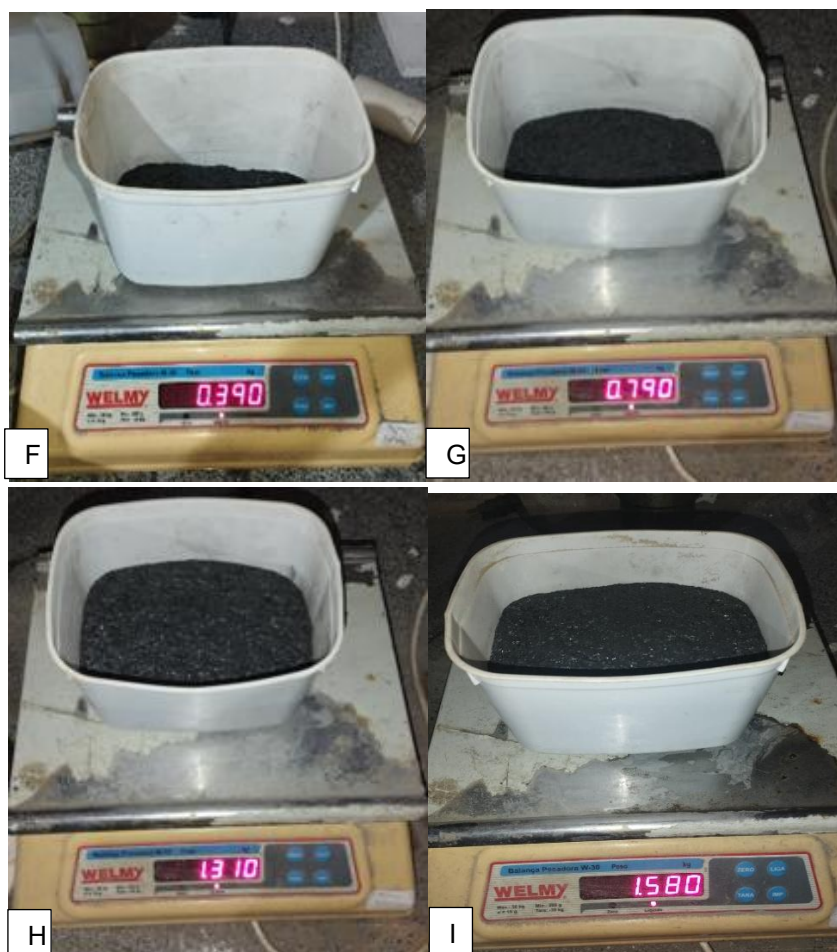
APÊNDICE D – Relatório fotográfico resultados ensaios de rompimento

APÊNDICE A – Relatório fotográfico pesagem dos materiais

A Figura 9 abaixo contém os materiais e a massa dos mesmos: A - brita 12,5mm; B - areia; C - aditivo (150ml); D - água; E - cimento Portland E-32.

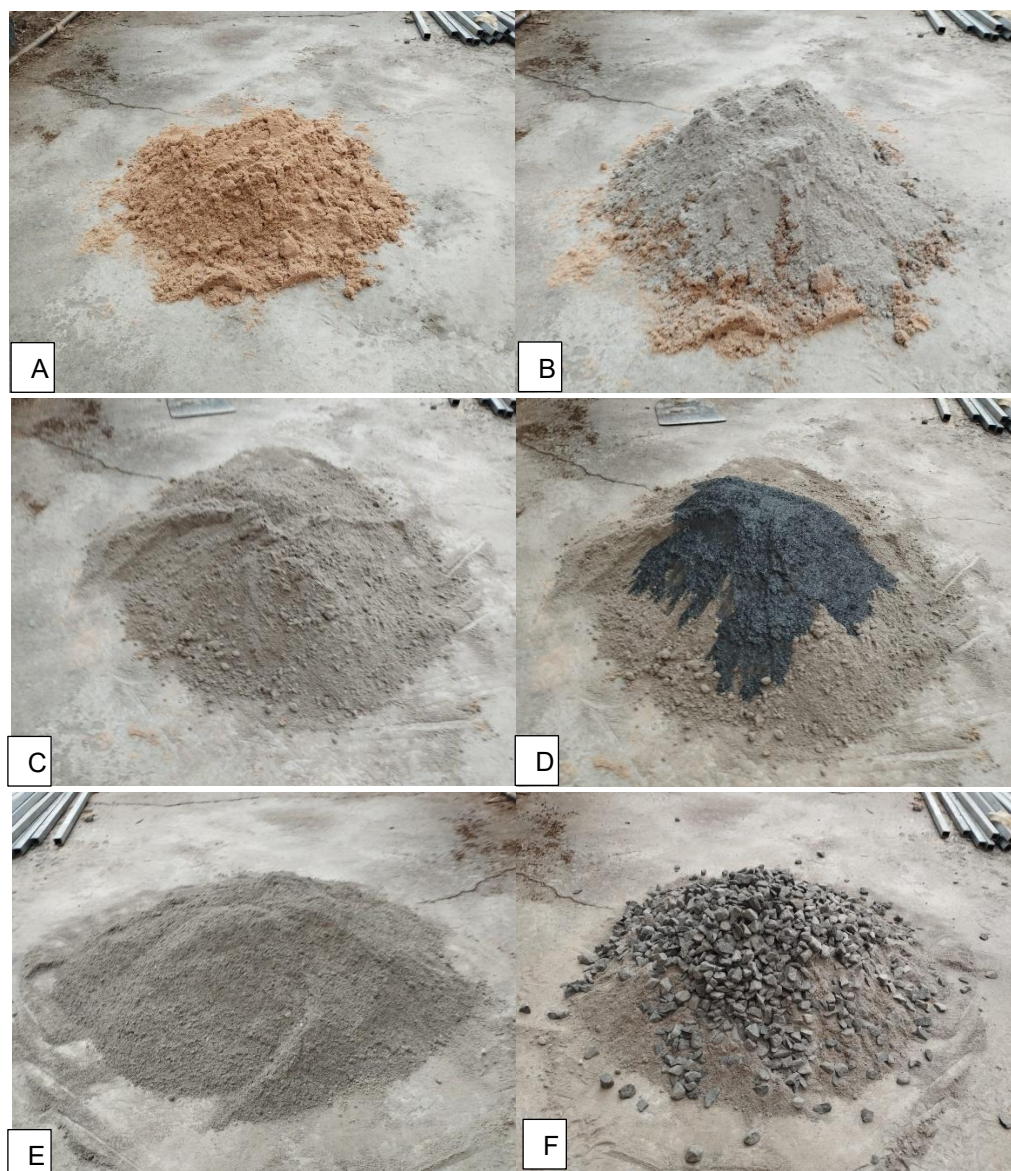


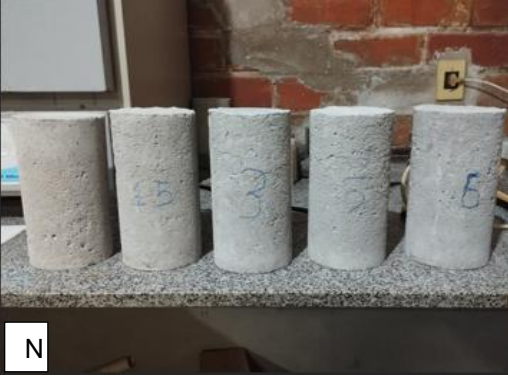
A Figura 10 mostra as quantidades de carepa utilizadas ao longo dos dias 2,3, 4 e 5, respectivamente, em F, G, H e I.



APÊNDICE B – ETAPAS DA MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA

A Figura 11 contém as etapas cronológicas as quais ocorreram para a moldagem: A - Despeja-se a areia; B - Adiciona-se cimento; C - Mistura-se até tornar-se homogêneo; D - Adiciona-se carepa; E - Mistura-se até tornar-se homogêneo; F - Adiciona-se brita; G - Mistura-se brita e realiza-se abertura central; H - Adiciona-se água; I - Mistura-se o conjunto; J - Adiciona-se mais água e aditivo; K - Realiza-se o *Slump Test*; L - Confecção dos corpos de prova; M - Desmolde e cura dos corpos de prova após 24h; N: Retirada da cura para ensaio ou rompimento (7, 14 e 28 dias)





APÊNDICE C- Relatório fotográfico *Slump test*

A Figura 12 mostra: A - Tronco de cone de *Slump test*, Diâmetro inferior 200mm x Diâmetro superior 100mm x 300mm de altura em A; B a F - resultados do *Slump test* dos dias 1 ao 5, respectivamente.



APÊNDICE D - Relatório fotográfico resultado dos ensaios de rompimento

A Figura 13 abaixo contém: A e B - Rompimento traço 1 a 7 dias; C e D - Rompimento traço 2 a 7 dias.; E e F - Rompimento traço 3 a 7 dias.; G e H - Rompimento traço 4 a 7 dias.; I e J - Rompimento traço 5 a 7 dias.; H e L - Rompimento traço 1 a 28 dias.; M e N - Rompimento traço 2 a 28 dias.; O e P - Rompimento traço 3 a 28 dias.; Q e R - Rompimento traço 4 a 28 dias.; S e T - Rompimento traço 5 a 28 dias.

