

INFLUÊNCIA DA DOSAGEM DO ADITIVO REDUTOR DE ÁGUA TIPO I NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO E REDUÇÃO DO CONSUMO DE CIMENTO E EMISSÃO DE CO₂

Influence of the dosage of type I water-reducing admixture on the properties of concrete and reduction of cement consumption and CO₂ emissions

Fernanda Selbach Berndt¹, Eduardo Polesello²

Resumo: O crescimento da construção civil nas últimas décadas impulsionou o desenvolvimento de concretos com maior resistência mecânica. Nesse contexto, destacam-se os aditivos redutores de água tipo I que, conforme a NBR 11768 (ABNT, 2019), permitem redução mínima de 8% na água de amassamento, aumentando a resistência mecânica e melhorando a trabalhabilidade. Este estudo analisou a influência do aditivo nas propriedades do concreto, de acordo com normas técnicas. Ensaaios laboratoriais avaliaram o comportamento nos estados fresco e endurecido, com diferentes teores de aditivo. No estado fresco, avaliou-se o abatimento; e no endurecido, o módulo de elasticidade, a resistência à compressão, a absorção de água e o índice de vazios. Os resultados indicaram que o aditivo possibilitou redução do consumo de água em até 16,13% e do consumo de cimento em 59,6 kg/m³, mantendo a trabalhabilidade e elevando a resistência mecânica. Observou-se potencial de redução das emissões de CO₂, com base em estimativas teóricas considerando a redução do consumo de cimento registrada.

Abstract: The growth of the construction industry in recent decades has driven the development of concretes with higher mechanical strength. In this context, type I water-reducing admixtures stand out, which, according to NBR 11768 (ABNT, 2019), allow a minimum reduction of 8% in mixing water, increasing mechanical strength and improving workability. This study analyzed the influence of the admixture on the properties of concrete, according to technical standards. Laboratory tests evaluated the behavior in the fresh and hardened states, with different admixture contents. In the fresh state, slump was evaluated; and in the hardened state, the modulus of elasticity, compressive strength, water absorption, and void index were assessed. The results indicated that the admixture enabled a reduction in water consumption of up to 16.13% and in cement consumption of 59.6 kg/m³, while maintaining workability and increasing mechanical strength. Potential for reducing CO₂ emissions was observed, based on theoretical estimates considering the recorded reduction in cement consumption.

Palavras-chave: concreto;
aditivo redutor de água;
consumo de cimento;
resistência à compressão

Keywords: concrete; water-reducing admixture; cement consumption; compressive strength

¹ Graduada em Engenharia Civil, Universidade Feevale, fernanda.berndt99@gmail.com

² Doutor em Engenharia Civil, Universidade Feevale, eduardopolesello@feevale.br

1. INTRODUÇÃO

Conforme estabelece a NBR 11768 (ABNT, 2019), a principal função do aditivo químico classificado como redutor de água tipo I é reduzir o consumo de água durante o processo de amassamento, no mínimo em 8%, sem comprometer as características estruturais do concreto, contribuindo para o aprimoramento de suas propriedades mecânicas. Essa característica contribui também para a preservação dos recursos hídricos, aspecto especialmente relevante em regiões com escassez de água. Esses aditivos atuam fisicamente na dispersão das partículas de cimento, reduzindo o atrito interno e aumentando a fluidez da mistura, o que possibilita menores relações água/cimento sem perda de trabalhabilidade, assegurando maior resistência mecânica e durabilidade (Maciel *et al.*, 2020; Calatrone *et al.*, 2021; Kimsanovich, 2021; Andrade, 2023; El-Domany, 2023). Segundo Mehta e Monteiro (2014), Calatrone *et al.* (2021), Andrade (2023) e Amaral (2024), a proporção adequada dos materiais e a dosagem correta do aditivo são fundamentais para evitar problemas como segregação, exsudação e perda de trabalhabilidade, garantindo desempenho mecânico do concreto. O uso controlado, conforme recomendações do fabricante, reforça a importância de manter o equilíbrio entre os componentes da mistura, de modo a garantir um concreto homogêneo e de maior qualidade (Maciel *et al.*, 2020; Gurgel Neto *et al.*, 2023). Lucena Jr. (2018), Maciel *et al.* (2020), El-Domany (2023) e Mohammed *et al.* (2024) ressaltam que fatores externos, como temperatura e umidade, influenciam diretamente na eficiência dos aditivos, exigindo ajustes na dosagem e rigor no controle de aplicação.

O acompanhamento da produção do concreto em centrais dosadoras é determinante para padronizar resultados e evitar variações que comprometam o desempenho mecânico e trabalhabilidade do material. Além disso, os aditivos contribuem para maior homogeneidade da mistura, melhor dispersão do cimento e ganho de resistência mecânica, especialmente nos primeiros dias de cura, resultando em concretos mais homogêneos e de alto desempenho mecânico (Gonçalves, 2020; Venancio, 2023; Amaral, 2024). Considerando esses aspectos, diversos estudos investigaram a influência dos aditivos redutores de água tipo I sobre as propriedades do concreto, avaliando parâmetros como abatimento, relação água/cimento e resistência à compressão em diferentes condições de dosagem e cura. A Tabela 1 apresenta os resultados de abatimento e resistência à compressão observados nos estudos de Lima *et al.* (2018), Melo *et al.* (2020), Costa *et al.* (2022), Andrade (2023), Amaral (2024) e Pedroso *et al.* (2024), que analisaram o comportamento de concretos produzidos com esse tipo de aditivo.

Tabela 1 – Resultados de abatimento e resistência à compressão do concreto

Autor/ Ano	Dosagem de aditivo (%)	Relação a/c	Abatimento (mm)	Resistência à compressão 7 dias (MPa)	Resistência à compressão 28 dias (MPa)
Lima <i>et al.</i> (2018)	0,00	0,60	190	-	28,24
	1,00	0,48	70	-	42,92
Melo <i>et al.</i> (2020)	0,00	0,79	100 ± 20	11,56	18,26
	0,80	0,43	100 ± 20	10,91	18,81
Costa <i>et al.</i> (2022)	0,85	0,41	100 ± 20	47,70	50,00
Andrade (2023)	1,00	0,65	120	22,65	-
	1,25	0,65	130	22,81	-
	1,50	0,65	150	23,34	-
Amaral (2024)	0,00	0,65	90	16,43	18,39
	0,80	0,65	140	18,14	20,08
Pedroso <i>et al.</i> (2024)	0,00	0,73	120 ± 20	-	-
	1,20	0,70	140	31,30	40,13

Fonte: Autores (2025).

Amaral (2024) destacou que, mesmo com o uso do aditivo, a trabalhabilidade depende diretamente do equilíbrio entre a quantidade de água e a dosagem incorporada, a fim de evitar exsudação e segregação. Ribeiro *et al.* (2020) e Costa *et al.* (2022) afirmaram que dosagens elevadas de aditivo não garantem melhorias na trabalhabilidade ou na resistência mecânica quando a relação a/c não é devidamente controlada.

De forma complementar, Pedroso *et al.* (2024) reforçam que a eficiência do aditivo está associada à maior dispersão das partículas de cimento, que promove uma matriz mais compacta e, consequentemente, concretos com maior resistência mecânica. Mehta e Monteiro (2014) destacam que a absorção de água é um parâmetro eficaz para estimar a durabilidade do concreto, uma vez que concretos mais densos e menos porosos apresentam maior resistência mecânica. Esse comportamento está associado à melhor compactação da matriz cimentícia, que reduz a porosidade e dificulta a penetração de íons agressivos provenientes do ambiente.

Segundo Kimsanovich (2021), os aditivos redutores de água tipo I são dispersantes que estabilizam a mistura entre cimento e água. Seu efeito ocorre pela absorção das moléculas na superfície das partículas de cimento, o que reduz o atrito interno, melhora a dispersão dos grãos e diminui a necessidade de água na mistura. Garzón-Agudelo *et al.* (2021) e Rodriguez Alayo (2021) destacam que a dosagem do aditivo deve ser controlada, pois teores inferiores ao recomendado podem comprometer a fluidez e exigir maior quantidade de água, reduzindo a resistência mecânica. Em contrapartida, dosagens excessivas tendem a aumentar a porosidade e afetar negativamente o desempenho a longo prazo.

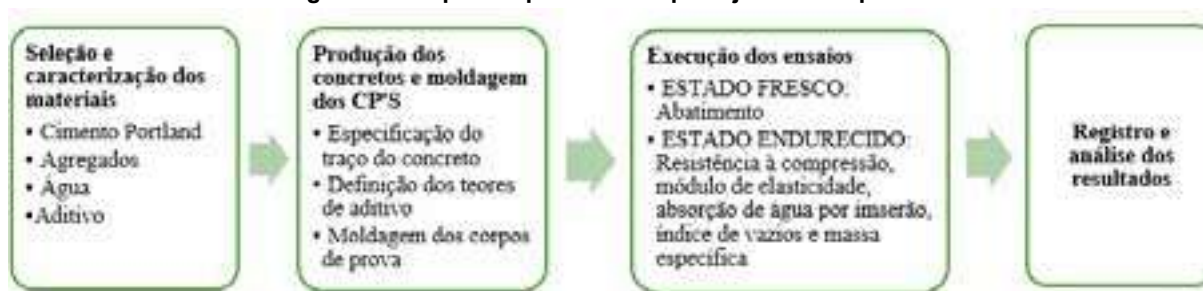
Nesse mesmo sentido, os estudos de Maciel *et al.* (2020), Gurgel Neto *et al.* (2023) e Mohammed *et al.* (2024), demonstram que os melhores resultados foram obtidos com dosagens dentro do padrão, conforme recomendações do fabricante, comprovando a importância de manter o equilíbrio entre os componentes da dosagem para garantir um concreto de qualidade. Corroborando, Dreher *et al.* (2019) afirmam que a redução do consumo de água, e consequentemente da relação a/c, tendem a apresentar maiores valores de resistência à compressão, devido à formação de uma matriz cimentícia mais densa e com menor volume de vazios.

Observando a influência e importância do uso de aditivo redutor de água tipo I na produção de concreto, essa pesquisa teve como objetivo avaliar o impacto da variação dos teores do aditivo redutor de água tipo I nas propriedades do concreto, por meio da avaliação de seu comportamento nos estados fresco e endurecido. Adicionalmente, registrou-se a redução no consumo de água e cimento, mantendo a classe de abatimento dos concretos, a fim de verificar os impactos na eficiência da redução de cimento na produção de concreto.

2. METODOLOGIA

Este estudo é de natureza aplicada, com abordagem descritiva e quantitativa, e os experimentos foram realizados nos Laboratório Técnicos da Construção (LABTEC) da Universidade Feevale. O programa experimental foi organizado em etapas sequenciais, conforme demonstra na Figura 1, abrangendo a seleção e caracterização dos materiais, produção dos concretos, moldagem dos corpos de prova, realização dos ensaios e a análise dos resultados.

Figura 1 – Etapas sequenciais do planejamento experimental



Fonte: Autores (2025).

O detalhamento de cada etapa, com a especificação de processos e normas técnicas utilizadas, está apresentado na sequência.

2.1 Materiais

O cimento utilizado neste estudo foi o cimento Portland de alta resistência inicial (CP V-ARI), com massa específica, conforme os critérios definidos pela NBR 16605 (ABNT, 2017), de 3,08 g/cm³. Os agregados empregados foram o miúdo, de origem natural, e o graúdo, de origem basáltica, ambos fornecidos por empresa parceira do projeto, com caracterização apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Características dos agregados utilizados no estudo

Agregado	Características/Norma	Resultados
Miúdo	Massa específica - NBR 16916 (ABNT, 2021)	2,62 g/cm³
	Massa unitária - NBR 16972 (ABNT, 2021)	1,518 g/cm³
	Módulo de finura - NBR 17054 (ABNT, 2022)	2,34
	Dimensão máxima do grão - NBR 17054 (ABNT, 2022)	4,75 mm
Graúdo	Massa específica - NBR 16916 (ABNT, 2021)	2,56 g/cm³
	Massa unitária - NBR 16972 (ABNT, 2021)	1,511 g/cm³
	Módulo de finura - NBR 17054 (ABNT, 2022)	6,68
	Dimensão máxima do grão - NBR 17054 (ABNT, 2022)	19,0 mm

Fonte: Autores (2025).

Neste estudo, a água utilizada foi disponibilizada pelo laboratório da Universidade Feevale (LABTEC), proveniente de um poço artesiano e classificada como água potável, portanto em condições de uso para produção de concreto, conforme NBR 15900-1 (ABNT, 2009). Em relação ao aditivo utilizado, optou-se por um redutor de água tipo I (RA1-R). Segundo ficha técnica do fabricante, trata-se de um aditivo líquido, de cor marrom escuro, com massa específica que atende aos limites de 1,10 g/cm³ a 1,14 g/cm³, estabelecendo como dosagem recomendada, em relação a massa de cimento, 0,50% a 1,00%. A escolha desse aditivo RA1-R se deu por, conforme detalha a ficha técnica do fabricante, prolongar a manutenção de abatimento do concreto mantendo os tempos de pega controlados, ideal para condição de uso em central dosadora de concreto.

2.2 Métodos

A definição do traço referência foi estabelecida com base nos critérios de dosagem do método IPT/EPUSP (Helene e Terzian, 1992). Definiu-se como traço unitário, em massa, de 1,0 : 2,05 : 2,60, com relação a/c de 0,60, teor de argamassa de 54% e classe de abatimento S160. Em laboratório

realizou-se a produção de 35 litros de concreto. As quantidades de cada material utilizado para o traço referência, tanto para produção de 1,0 m³ e para 35 litros, encontra-se na Tabela 3.

Tabela 3 – Detalhamento do traço referência produzido

Volume	Cimento	Agregado miúdo	Agregado graúdo	Água	Aditivo
1,0 m ³	367,8 kg	754,0 kg	956,3 kg	220,7 kg	0,00 kg
35,0 litros	12873,0 g	26390,0 g	33470,0 g	7724,0 g	0,00 g

Fonte: Autores (2025).

Foram produzidos seis traços de concreto, sendo um caracterizado como concreto referência, sem o uso de aditivo (0,0%) detalhado na Tabela 3, e cinco traços com diferentes dosagens de aditivo redutor de água tipo I, estabelecidas em 0,25%, 0,50%, 0,75%, 1,00% e 1,25%, em relação a massa de cimento da mistura. A nomenclatura adotada foi: TREF (0%), T025 (0,25%), T050 (0,50%), T075 (0,75%), T100 (1,00%) e T125 (1,25%). Essa definição dos percentuais adotados contempla os limites inferiores e superiores estabelecidos pelo fabricante, assim como destacado por Garzón-Agudelo *et al.* (2021) e Rodriguez Alayo (2021), além da consideração de duas dosagens que extrapolam os limites da ficha técnica, um teor abaixo (0,25% de aditivo) e outro acima (1,25% de aditivo). Essa escolha busca avaliar na prática os efeitos reais da subdosagem e da superdosagem do aditivo, analisando os impactos sobre as propriedades do concreto e a produção do concreto seguiu as recomendações da NBR 12821 (ABNT, 2009).

A Tabela 4 detalha os ensaios que foram realizados nos estados fresco e endurecido, apresentando as respectivas idades de ensaio e normas técnicas consideradas.

Tabela 4 – Ensaios realizados nos estados fresco e endurecido

Estado	Ensaio	Idade do Ensaio	Norma/Referência
Fresco	Abatimento do tronco de cone	Estado Fresco	NBR 16889 (ABNT, 2020)
	Resistência à compressão	7 e 28 dias	NBR 5739 (ABNT, 2018)
Endurecido	Módulo de elasticidade	28 dias	NBR 8522 (ABNT, 2021)
	Absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica	28 dias	NBR 9778 (ABNT, 2009)

Fonte: Autores (2025).

A redução do consumo de água nos traços foi avaliada por meio da padronização do abatimento, garantindo a mesma trabalhabilidade entre os concretos analisados e a partir disso, registrou-se a quantidade de água utilizada em cada traço com aditivo e comparou-se com a quantidade empregada no traço referência, identificando o percentual de redução água promovida pelo uso do aditivo. Em função da redução do consumo de água proporcionada pela dosagem do aditivo, foi determinado o consumo de cimento necessário para que cada um dos traços com aditivo mantenha a relação a/c do traço referência, registrando, com isso, essa redução no consumo de cimento estimada por m³ de concreto produzido.

Para avaliar o desempenho do aditivo na produção dos concretos, os resultados dos ensaios nos estados fresco e endurecido, foram comparados com o traço de concreto referência, sendo os dados submetidos à análise de variância (ANOVA), no software Statistica, considerando intervalo de confiança de 95%.

3.RESULTADOS

3.1 Abatimento do tronco de cone (*Slump Test*)

Os resultados do ensaio de abatimento do tronco de cone, da quantidade de água necessária, na produção dos 35 litros de concreto em laboratório, e os percentuais de redução de água, registrados com as diferentes dosagens de aditivo, estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Abatimento do tronco de cone (*Slump Test*) e corte de água

Nomenclatura do traço	Teor de aditivo redutor de água tipo I (%)	Relação a/c	Água (g)	Abatimento (mm)	Corte de água (%)
TREF	0,00	0,60	7724,0	160	-
T025	0,25	0,54	6936,0	160	10,20
T050	0,50	0,53	6825,0	155	11,64
T075	0,75	0,51	6586,0	170	14,73
T100	1,00	0,51	6540,0	155	15,33
T125	1,25	0,50	6478,0	180	16,13

Fonte: Autores (2025).

A partir dos resultados, é possível afirmar que o aditivo contribuiu para a redução na quantidade de água da mistura sem comprometer a fluidez do concreto, em conformidade com a literatura, a exemplo dos estudos de Lima *et al.* (2018), Lucena Jr. (2018), Maciel *et al.* (2020), Calatrone *et al.* (2021) e Rodriguez Alayo (2021). Considerando a dosagem de 1,00% de aditivo, Lucena Jr. (2018), registrou redução de 8% na água, enquanto no presente estudo (T100) essa diminuição foi de 15,33%. Os dados mostram a influência do uso do aditivo, porém registrando desempenhos diferenciados, o que pode ser justificado pela eficiência da amostra de aditivo utilizada, visto serem diferentes em cada um dos estudos citados. Para o presente estudo, observa-se que o desempenho apresentado pelos traços produzidos com aditivo confirma a eficiência do aditivo empregado, evidenciando a redução de consumo de água, com o aumento da dosagem de aditivo, e manutenção da trabalhabilidade desejada.

3.2 Resistência à compressão

Os resultados médios de resistência à compressão, aos 7 e 28 dias, bem como o ganho percentual de resistência mecânica neste período de cura, são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Resistência média à compressão e percentual de ganho de resistência da idade de 7 para 28 dias

Traço	TREF	T025	T050	T075	T100	T125
7 dias	24,41	31,30	33,25	41,30	33,21	36,92
28 dias	28,47	35,80	40,30	43,29	41,08	50,07
% ganho	16,60%	14,40%	21,20%	4,80%	23,70%	35,60%

Fonte: Autores (2025).

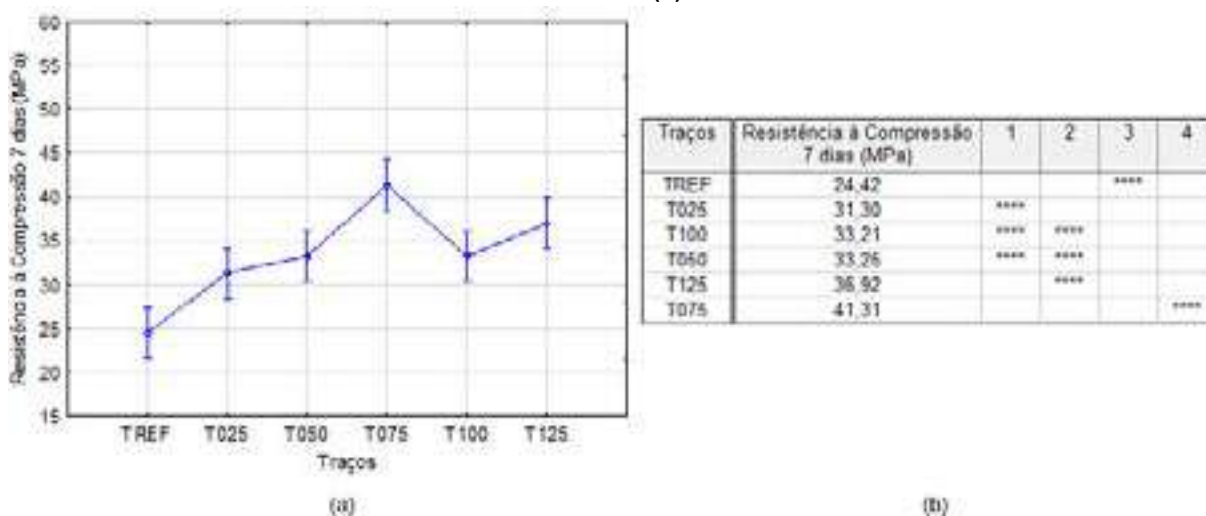
Os dados dos 7 dias foram submetidos à análise estatística, e o resultado dessa análise está detalhado na Tabela 7, acompanhados da Figura 2, que apresenta graficamente o comportamento dos diferentes traços analisados e comparação entre os traços pelo teste de Fisher.

Tabela 7 – Análise de Variância (ANOVA) - Resistência à compressão aos 7 dias

Variáveis	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	Valor calculado de F	Fator P	Variância Significativa
Traço	320,16	5	64,03	22,764	0,000778	Sim
Erro	16,88	6	2,81			

Fonte: Autores (2025).

Figura 2 – Resistência à compressão aos 7 dias: (a) Comportamento da análise de variância e (b) Teste de Fisher



Fonte: Autores (2025).

A ANOVA indicou diferenças significativas entre os traços avaliados quanto à resistência à compressão aos 7 dias. Observa-se, pela Figura 2, que o traço T075 apresentou resistência superior em relação aos demais, sendo estatisticamente distinto dos outros grupos e com melhor desempenho mecânico entre as dosagens analisadas. É possível observar também que o traço referência, sem aditivo, apresentou desempenho significativamente inferior aos demais concretos, evidenciando os benefícios do uso de aditivo.

De modo geral, percebe-se que a dosagem de aditivo em torno de 0,75%, proporcionou benefícios significativos às propriedades do concreto, equilibrando trabalhabilidade, redução de água e relação a/c, resultando no aumento da resistência mecânica inicial. Resultados semelhantes foram observados por Amaral (2024) e Lucena Jr. (2018), que relataram ganhos de resistência mecânica em dosagens intermediárias. Garzón-Agudelo *et al.* (2021) e Rodriguez Alayo (2021) também destacam que dosagens acima do limite recomendado podem comprometer a estrutura da matriz cimentícia, reduzindo o desempenho mecânico a longo prazo.

Maciel *et al.* (2020) e Gurgel Neto *et al.* (2023) enfatizam que a eficiência dos aditivos está diretamente relacionada ao equilíbrio entre a redução de água e a manutenção da trabalhabilidade, reforçando a importância de respeitar o ponto ótimo de dosagem para garantir concretos homogêneos e de melhor desempenho mecânico.

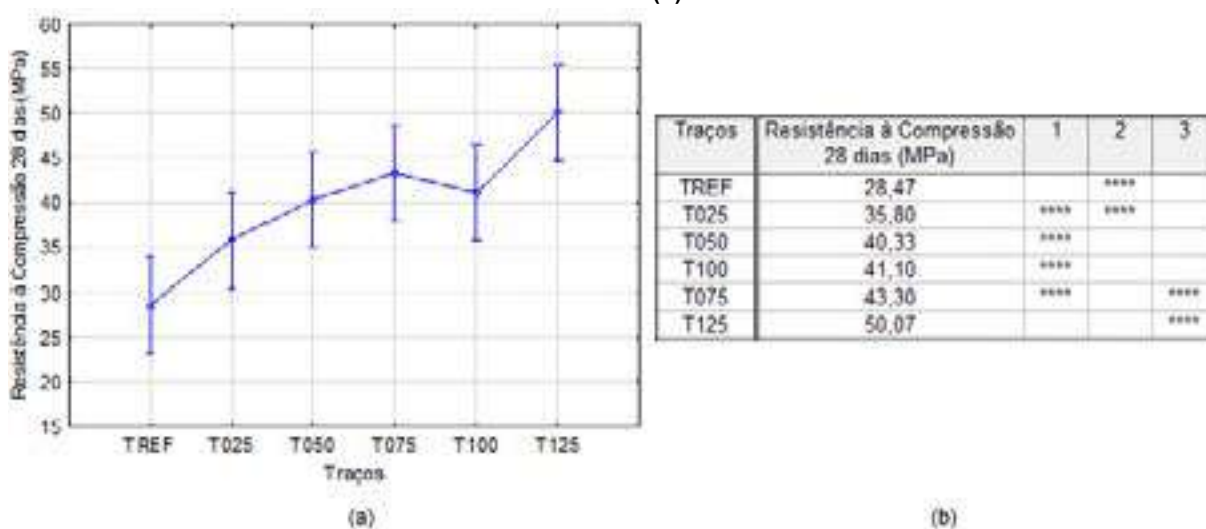
Os resultados da ANOVA, para resistência à compressão aos 28 dias, estão apresentados na Tabela 8, seguidos pela Figura 3.

Tabela 8 – Análise de Variância (ANOVA) - Resistência à compressão aos 28 dias

Variáveis	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	Valor calculado de F	Fator P	Variância Significativa
Traço	792,18	5	158,44	8,630	0,001142	Sim
Erro	220,30	12	18,36			

Fonte: Autores (2025).

Figura 3 – Resistência à compressão aos 28 dias: (a) Comportamento da análise de variância e (b) Teste de Fisher



Fonte: Autores (2025).

Pela Tabela 8 observa-se que há diferenças significativas na resistência à compressão entre os traços avaliados aos 28 dias de idade. Observa-se, pela Figura 3, que os traços TREF e T025 apresentaram resultados estatisticamente semelhantes, indicando que nas menores dosagens de aditivo, o ganho de resistência mecânica não foi suficiente para gerar diferenças em relação ao traço de referência. Os traços T050, T075 e T100 formaram um mesmo grupo estatístico, revelando tendência de aumento da resistência à compressão, estatisticamente comprovado, quando comparado ao concreto referência. Esse comportamento sugere que a ação plastificante do aditivo passou a atuar de forma positiva, que pode promover melhor dispersão das partículas de cimento e redução da relação a/c, o que favoreceu o avanço das reações de hidratação e, conseqüentemente, o aumento da resistência mecânica.

Verifica-se que o aditivo manteve bom desempenho mecânico a partir da dosagem de 0,50%, atingindo equilíbrio entre dispersão das partículas, hidratação do cimento e desenvolvimento da resistência mecânica nas faixas de dosagem de aditivo especificadas pelo fabricante (0,50% a 1,00%), corroborando a literatura de Lucena Jr. (2018), Lima *et al.* (2018), Amaral (2024) e Pedroso *et al.* (2024) já citadas no presente estudo.

Mesmo ultrapassando o limite indicado pelo fabricante, o traço com 1,25% de aditivo (T125) apresentou desempenho elevado aos 28 dias, com relação a/c de 0,50 e redução de 16,13% no consumo de água, valor superior à faixa mínima estabelecida pela NBR 11768 (ABNT, 2019). Esses resultados sugerem a eficiência do aditivo na dispersão das partículas de cimento, favorecendo a compactação e a hidratação da matriz cimentícia. Observa-se que os resultados obtidos corroboram os resultados de Lima *et al.* (2018), Lucena Jr. (2018), Ribeiro *et al.* (2020) e Pedroso *et al.* (2024), que indicam que a redução da relação água/cimento, promovida pelo uso de aditivos, favorece o aumento da resistência mecânica e pode possibilitar a produção de concretos com menor consumo de materiais.

Embora o traço T125 (1,25%) tenha apresentado valores expressivos de resistência à compressão aos 28 dias, essa dosagem encontra-se fora da faixa recomendada pelo fabricante, de modo que sua utilização em aplicações práticas deve ser avaliada com cautela, pois dosagens elevadas podem comprometer a estabilidade da mistura, aumentar o risco de segregação e afetar propriedades no longo prazo, conforme indicado pela literatura. Nesse contexto, a faixa de dosagem entre 0,75% e 1,00% de aditivo é considerada mais adequada, pois equilibra desempenho mecânico, estabilidade da mistura e conformidade com as recomendações do fabricante, reforçando a aplicabilidade prática dos resultados. Em função da redução percentual na quantidade de água utilizada para os traços com aditivo, conforme já detalhado na Tabela 5, apresenta-se na Tabela 9, a redução do consumo de cimento, por m³ de concreto produzido, para os traços com o uso de aditivo em comparação ao traço referência.

Tabela 9 – Redução do consumo de cimento dos concretos com aditivo em relação ao concreto referência

Nomenclatura do traço	Redução do consumo de água (%)	Consumo de Cimento para relação a/c 0,60 (kg/m ³)	Redução do consumo de cimento (kg/m ³)
TREF	-	367,80	-
T025	10,20	330,30	37,50
T050	11,64	325,00	42,80
T075	14,73	313,60	54,20
T100	15,33	311,40	56,40
T125	16,13	308,50	59,30

Fonte: Autores (2025).

À medida que o aditivo é incorporado à mistura, se mantida a mesma relação a/c do concreto de referência, observa-se a possível redução no consumo de cimento nos traços produzidos. A redução do consumo de cimento verificada neste estudo representa um avanço relevante na mitigação dos impactos ambientais da produção de concreto, pois, segundo Barbhuiya *et al.* (2025), a produção de concreto é responsável por cerca de 8% das emissões globais de CO₂, evidenciando a necessidade de alternativas de baixo carbono para a construção sustentável. Já o cimento representa cerca de 90% das emissões de CO₂ na produção de concreto, sendo que concretos de maior resistência (35 MPa) geram cerca de 20% mais emissões que concretos com menores resistências (20 MPa), devido ao maior teor de ligante (Kripka *et al.*, 2025).

No Brasil, as emissões médias são aproximadamente 580 kg de CO₂ por tonelada de cimento produzida. Em outubro de 2025, as vendas de cimento totalizaram 6,3 milhões de toneladas, representando um aumento de 7,1% em relação ao mesmo período de 2024. No acumulado do ano, de janeiro a outubro, as vendas atingiram 56,6 milhões de toneladas, com crescimento de 3,5% em comparação ao ano anterior, conforme dados do Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC, 2025). Diante do crescimento esperado da demanda, que pode ultrapassar 100 milhões de toneladas até 2050, a descarbonização da indústria cimenteira torna-se essencial para um futuro de baixo carbono no país (Rocha *et al.*, 2025).

Verificou-se que, entre o traço de referência (TREF) e o traço com 1,00% de aditivo (T100), ocorreu redução aproximada de 15% no consumo de cimento por m³ de concreto, resultado que corrobora o estudo de Lucena Jr. (2018), que observou redução aproximada de 15% em concretos com aditivo redutor de água. Dessa forma, a diminuição média de 56,40 kg/m³ pode contribuir para a redução das emissões associadas à produção do material, demonstrando que o uso do aditivo redutor de água se torna uma estratégia eficaz para otimizar o consumo de recursos na produção de concretos e minimizar os impactos ambientais no setor da construção civil (Kripka *et al.*, 2025).

O cimento é um dos maiores emissores de dióxido de carbono e, conforme Chen *et al.* (2025), a produção de cimento libera, em média, 560 kg de CO₂ por kg de cimento. De acordo com o Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON, 2025), a produção mundial de concreto ultrapassa 10 bilhões de toneladas por ano, o que corresponde a aproximadamente 4,2 bilhões de metros cúbicos de concreto e, segundo a Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem (ABESC, 2023), o Brasil produziu aproximadamente 43 milhões de metros cúbicos de concreto em 2022.

Considerando a redução no consumo de cimento de 56,4 kg/m³ obtida neste estudo, pode-se avaliar, em termos teóricos, o efeito do aditivo redutor de água tipo I sobre o impacto ambiental associado à produção de concreto. Para fins de estimativa, adotou-se um fator médio de emissão de aproximadamente 850 kg de CO₂ por tonelada de cimento, com base na faixa reportada por organismos internacionais, como a *International Energy Agency* (2018), que apresentam emissões globais entre 600 e 900 kg de CO₂ por tonelada de cimento produzido, em função das características do processo produtivo e da matriz energética utilizada. No contexto brasileiro, dados do SNIC (2025) apontam valores médios inferiores, da ordem de 550 a 650 kg de CO₂ por tonelada, refletindo o uso de adições minerais e maior eficiência energética no setor.

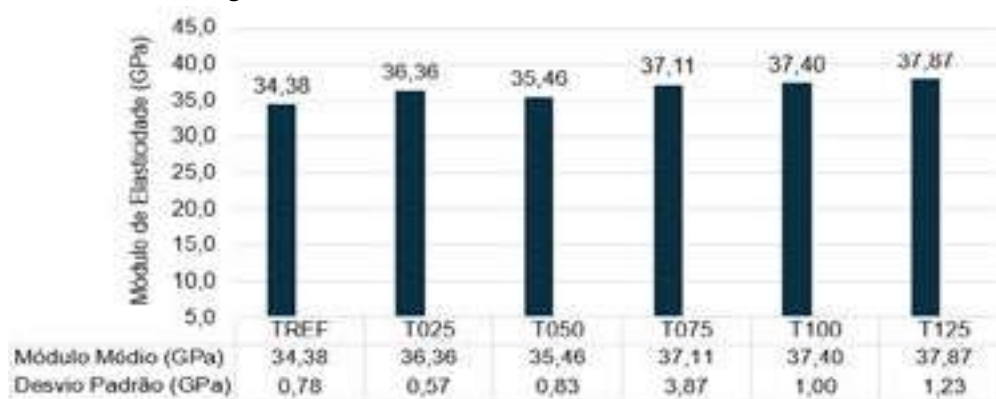
A partir dessas premissas, estima-se que o uso do aditivo pode contribuir para a redução de aproximadamente 1,4 milhão de toneladas de CO₂ ao ano no Brasil, considerando dados publicados de produção e consumo de cimento e concreto no país, conforme relatórios do SNIC (2025), que indicam consumo anual da ordem de dezenas de milhões de toneladas de cimento, além de dados setoriais do IBRACON (2025) e ABESC (2023), previamente apresentados.

Ressalta-se que essa estimativa não considera variações regionais, tecnológicas, logísticas e operacionais, devendo ser interpretada como um cenário teórico indicativo.

3.3 Módulo de elasticidade

Os resultados médios obtidos para o módulo de elasticidade, ensaiados aos 28 dias, estão apresentados na Figura 4.

Figura 4 – Resultados médios do módulo de elasticidade



Fonte: Autores (2025).

Ao analisar estatisticamente os dados, a ANOVA indicou que para o módulo de elasticidade, aos 28 dias, não ocorreram diferenças significativas entre os traços analisados, conforme apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 – Análise de Variância (ANOVA) – Módulo de elasticidade aos 28 dias

Variáveis	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	Valor calculado de F	Fator P	Variância Significativa
Traço	25,93	5	5,19	1,608	0,231552	Não
Erro	38,71	12	3,23			

Fonte: Autores (2025).

Girardi *et al.* (2020), Leal *et al.* (2020) e Amaral (2024) afirmam que o uso de aditivos redutores de água tipo I possibilitam menor consumo de água sem comprometer o desempenho do módulo de elasticidade. Comportamento evidenciado no estudo, visto os baixos desvios padrões registrados e que as dosagens de aditivo utilizadas proporcionarem redução no consumo de água sem afetar, estatisticamente, o resultado do módulo de elasticidade dos concretos analisados.

3.4 Absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica

Analizou-se também o efeito da presença do aditivo na absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica, aos 28 dias de idade, conforme resultados apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Resultados médios, desvios padrão e coeficiente de variação da absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica

Traço	Absorção por imersão (%)	Desvio padrão (%)	Coeficiente de variação (%)	Índice de vazios (%)	Massa específica (g/cm³)
TREF	7,10	0,12	1,70	15,78	2,224
T025	5,95	0,16	2,69	13,57	2,283
T050	5,84	0,22	3,76	13,20	2,261
T075	5,87	0,24	4,13	13,09	2,231
T100	5,86	0,02	0,32	13,24	2,257
T125	5,66	0,14	2,51	12,41	2,192

Fonte: Autores (2025).

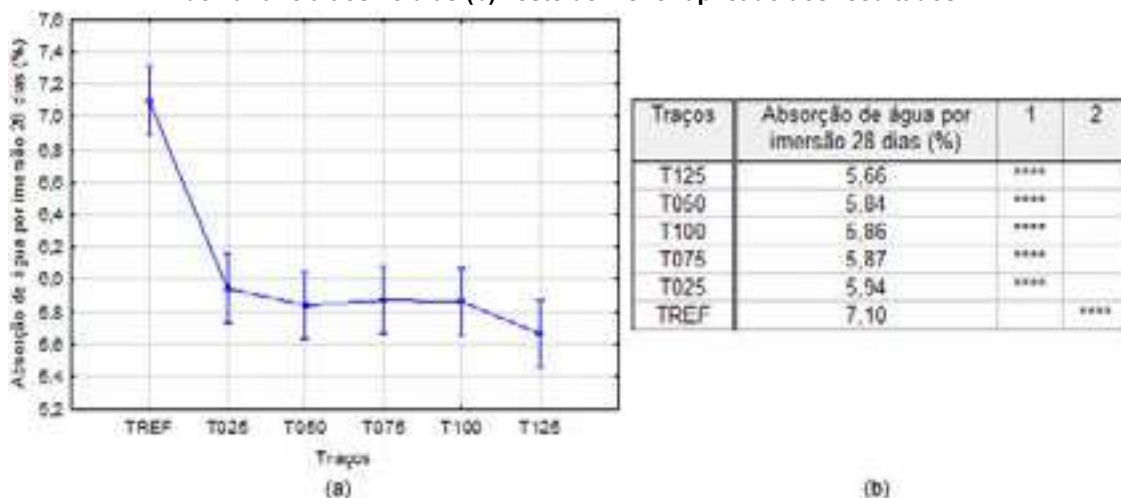
Para melhor analisar os comportamentos registrados, os dados foram submetidos a análise estatística. O resultado da ANOVA para a absorção de água por imersão está detalhado na Tabela 12, seguido pela Figura 5.

Tabela 12 – Análise de Variância (ANOVA) - Absorção de água por imersão aos 28 dias

Variáveis	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	Valor calculado de F	Fator P	Variância Significativa
Traço	4,1030	5	0,8206	29,08	0,000003	Sim
Erro	0,3387	12	0,0282			

Fonte: Autores (2025).

Figura 5 – Absorção de água por imersão: (a) Comportamento da análise de variância aos 28 dias (b) Teste de Fisher aplicado aos resultados



Fonte: Autores (2025).

Conforme apresentado na Tabela 12, a ANOVA indicou diferença significativa entre os traços analisados, evidenciando que a variação nos teores de aditivo influenciou de forma relevante o comportamento do concreto. O teste de Fisher (Figura 5) mostrou que o traço de referência (TREF) diferiu de todos os demais traços, enquanto T025, T050, T075, T100 e T125 não apresentaram diferenças entre si. Observa-se, portanto, que o uso de aditivo reduz significativamente a absorção de água por imersão, para qualquer teor de aditivo considerado, conforme já registrado por Bilesky *et al.* (2018), Oliveira Valin Jr. *et al.* (2020).

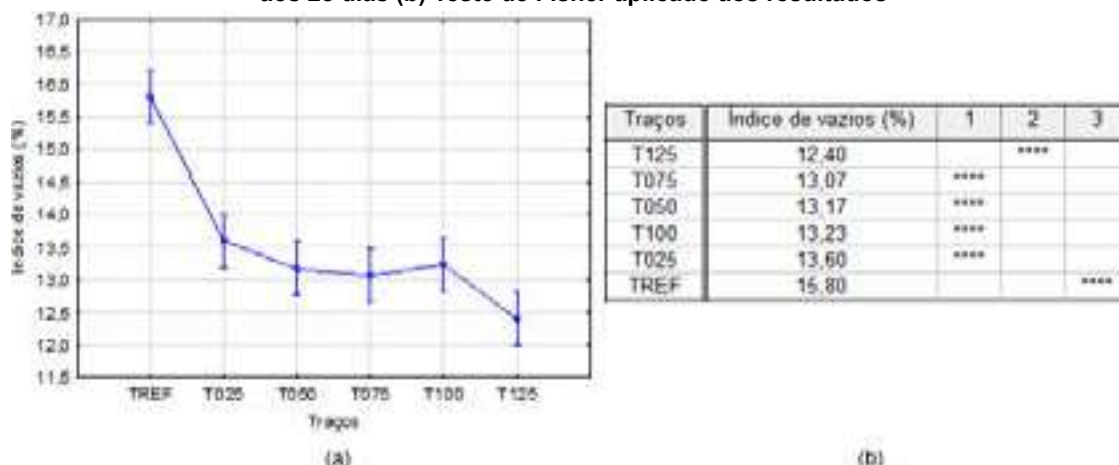
Além disso, os resultados refletem a qualidade do concreto produzido, visto que, de acordo com Neville (2016), concretos com taxa de absorção de água inferior a 10% são classificados como de boa qualidade, apresentando menor suscetibilidade à penetração de agentes agressivos. Da mesma forma, a ANOVA em relação ao índice de vazios mostrou diferença significativa entre os traços, conforme Tabela 13 e Figura 6.

Tabela 13 – Análise de Variância (ANOVA) – Índice de vazios aos 28 dias

Variáveis	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	Valor calculado de F	Fator P	Variância Significativa
Traço	20,604	5	4,121	38,63	0,000001	Sim
Erro	1,280	12	0,107			

Fonte: Autores (2025).

Figura 6 – Índice de vazios: (a) Comportamento da análise de variância aos 28 dias (b) Teste de Fisher aplicado aos resultados



Fonte: Autores (2025).

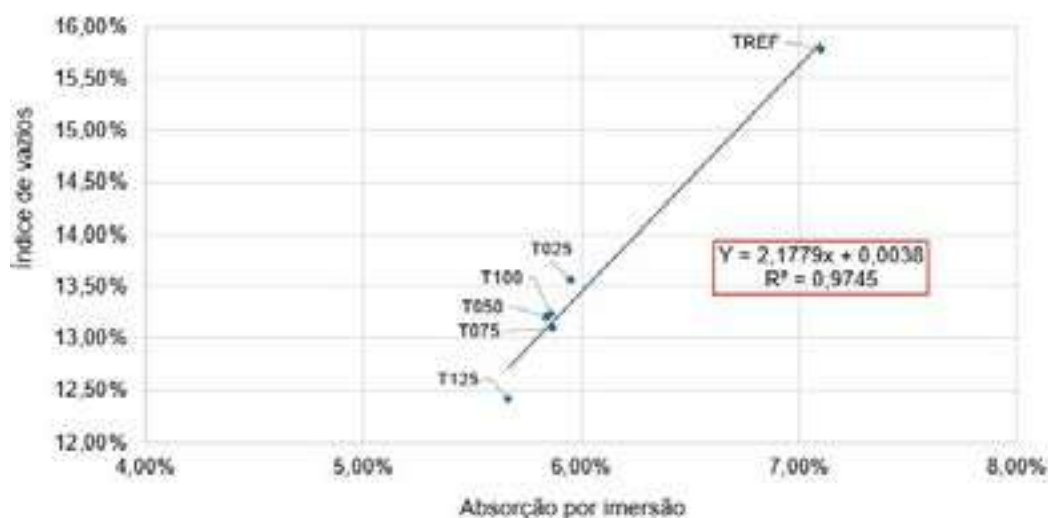
Observa-se um comportamento coerente com os resultados obtidos no ensaio de absorção de água por imersão, evidenciando que a redução do índice de vazios acompanha a diminuição da absorção, em função da melhoria da compactação e da densificação da matriz cimentícia.

O teste de Fisher (Figura 6) novamente demonstra que o traço de referência (TREF) é distinto estatisticamente de todos os traços que possuem aditivo, o que confirma, assim como observado na absorção por imersão, que a incorporação do aditivo exerceu efeito positivo na redução da porosidade do concreto. Por outro lado, os traços T025, T050, T075 e T100 apresentaram comportamento estatisticamente semelhante entre si, enquanto o traço T125 destacou-se por diferir de todos os demais, apresentando o menor índice de vazios.

Esse resultado reforça que o aumento do teor de aditivo pode promover melhor dispersão das partículas de cimento, reduzindo a quantidade de vazios no concreto, corroborando os achados de Bilesky *et al.* (2018) e Oliveira Valin Jr. *et al.* (2020).

Para melhor visualizar a correlação entre a absorção de água por imersão e índice de vazios, a Figura 7 apresenta a equação de regressão linear e o respectivo coeficiente de determinação (R^2).

Figura 7 – Correlação entre absorção por imersão e o índice de vazios

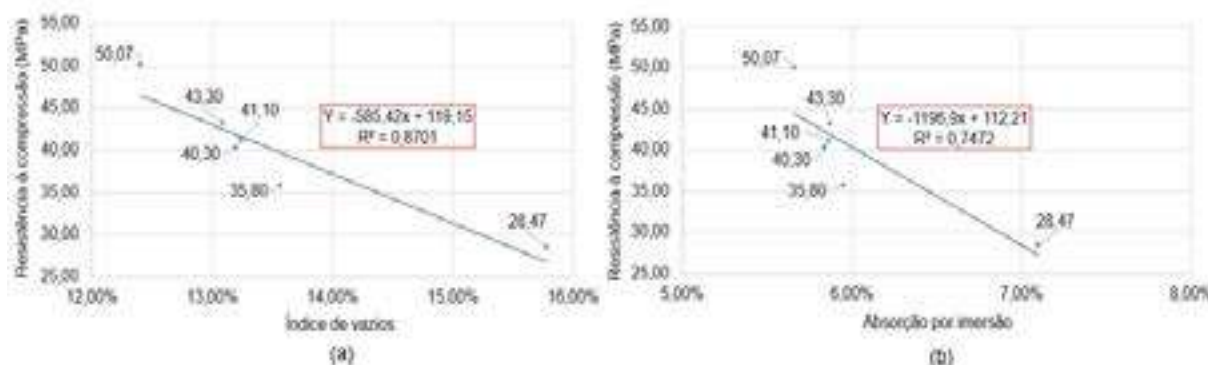


Fonte: Autores (2025).

Conforme Baran e Pichniarczyk (2017), valores de coeficiente de correlação (R^2) entre 0,70 e 0,90 indicam uma forte relação entre as variáveis, enquanto valores superiores a 0,90 representam uma correlação muito forte, demonstrando elevado grau de dependência entre os parâmetros analisados. O elevado coeficiente de determinação ($R^2 = 0,9745$) apresentado na Figura 7, indica uma correlação muito forte entre a absorção de água por imersão e o índice de vazios, demonstrando coerência e confiabilidade dos resultados obtidos para ambos os parâmetros.

Verifica-se relação diretamente proporcional entre essas variáveis, uma vez que, quanto menor a absorção de água, menor é o índice de vazios. Para melhor visualizar a correlação entre a absorção de água por imersão e a resistência à compressão, a Figura 8 apresenta a equação de regressão linear e o respectivo coeficiente de determinação (R^2).

Figura 8 – Correlação entre absorção por imersão: (a) Índice de vazios (b) Resistência à compressão



Fonte: Autores (2025).

Observa-se que os traços com menor índice de vazios e menor absorção de água foram os que registraram maior resistência mecânica. O traço T125, com 1,25% de aditivo, apresentou o melhor equilíbrio entre baixa absorção (5,66%), menor índice de vazios (12,41%), menor relação a/c (0,50) e maior resistência à compressão (50,07 MPa), reforçando que a menor quantidade de água e melhor compactação da mistura, contribuíram diretamente para o aumento da resistência mecânica do concreto. Esse comportamento corrobora ao observado por Maciel *et al.* (2020), Oliveira Valin Jr. *et al.* (2020), Camargo e Ferrari (2021) e Pedroso *et al.* (2024), que verificaram que o uso de aditivo favorece a compactação da matriz cimentícia, reduzindo a porosidade e contribuindo para o aumento do desempenho mecânico. De forma semelhante, Ahmad (2016) observou uma relação inversa entre a resistência à compressão e as propriedades de absorção, capilaridade e permeabilidade, em que os menores valores de absorção de água foram associados aos maiores valores de resistência mecânica.

Para o ensaio de massa específica no estado endurecido, a ANOVA não apresentou diferença significativa entre os traços analisados, conforme registrado na Tabela 14.

Tabela 14 - Análise de Variância (ANOVA) – Massa específica

Variáveis	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	Valor calculado de F	Fator P	Variância Significativa
Traço	0,01453	5	0,00291	2,63	0,079092	Não
Erro	0,01327	12	0,00111			

Fonte: Autores (2025).

Portanto, os dados encontrados neste estudo demonstram que o aumento da resistência à compressão, mesmo estando relacionado à dispersão das partículas, como melhor compactação e menor porosidade do concreto, não gera influência significativa em relação a massa específica no estado endurecido, conforme registrado também por Bilesky *et al.* (2018). É importante frisar que a massa específica aparente e o teor de ar aprisionado do concreto não variaram significativamente entre os traços análogos estudados e apresentaram-se inversamente proporcionais às relações água/cimento.

De modo geral, os resultados confirmam que o desempenho do aditivo redutor de água tipo I depende do teor de dosagem e da relação a/c, corroborando as observações dos autores Maciel *et al.* (2020), Andrade (2023), Amaral (2024) e Pedroso *et al.* (2024). Almeida e Cavallin (2022) e Garzón-Agudelo *et al.* (2021) ressaltam que concretos, aliados ao uso de aditivo redutor de água tipo I, proporcionam misturas mais homogêneas e coesas, reduzindo a segregação e proporcionando uma maior uniformidade, aspectos que favorecem o desempenho do concreto no estado endurecido, conforme observado no presente estudo.

Ressalta-se que os resultados obtidos, referem-se a condições laboratoriais controladas, podendo variar em aplicações reais devido a fatores como variabilidade dos materiais, condições de execução e escala de produção.

4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos no presente estudo indicam que a incorporação do aditivo redutor de água tipo I exerceu influência positiva sobre as propriedades do concreto, tanto no estado fresco quanto no endurecido, com redução do consumo de água e cimento, manutenção da trabalhabilidade e aumento da resistência mecânica.

No estado fresco, observou-se que o aditivo foi eficiente na redução do consumo de água em até 16,13%, sem comprometer a fluidez do concreto. O efeito plastificante do aditivo contribuiu para a melhor dispersão das partículas de cimento, favorecendo a homogeneidade e coesão da mistura. No estado endurecido, o aditivo proporcionou melhor compactação da matriz e redução da porosidade, resultando em menores valores de absorção de água e índice de vazios. As análises estatísticas (ANOVA) indicaram diferenças significativas nas principais propriedades do concreto em função da variação da dosagem de aditivo, destacando-se a faixa entre 0,75% e 1,00% como a mais adequada do ponto de vista técnico, por aliar bom desempenho mecânico, estabilidade da mistura e conformidade com as recomendações do fabricante.

De modo geral, verificou-se que o aditivo redutor de água tipo I mostrou-se eficiente na produção de concretos, contribuindo para a otimização do traço e para o aprimoramento das propriedades mecânicas, com manutenção da trabalhabilidade. Observa-se, ainda, o potencial de redução das emissões de CO₂ associadas à produção de concreto com o uso de aditivo redutor de água tipo I, com base em estimativas teóricas simplificadas associadas à diminuição do consumo de cimento por metro cúbico de concreto produzido. Ressalta-se, no entanto, que os resultados se referem a condições laboratoriais específicas, sendo recomendada a realização de estudos complementares em escala real para validação dos efeitos observados.

Os resultados evidenciam a importância do controle da dosagem do aditivo e da relação água/cimento como fatores determinantes para a otimização da mistura, possibilitando a obtenção de concretos com maior resistência mecânica e menor consumo de cimento.

5. REFERÊNCIAS

AGUDELO, P. A. G.; ALVARADO, W. P.; DELGADO, B. M. Impact of plasticizers on the physical and structural properties of concrete used in constructions. **Journal of Physics: Conference Series**, 2021.

AHMAD, M. Effect of plasticizers, superplasticizers and silica fly ash on concrete water-resistance. **Challenges of Modern Technology**, v. 7, n. 3, p. 33–38, 2016.

ALMEIDA, F. S.; CAVALLIN, M. Análise da ação de aditivos plastificantes em concreto convencional por meio de ensaios laboratoriais. **Revista Eletrônica das Engenharias do UniSALESIANO**, v. 10, n. 1, 2022.

AMARAL, W. B. do. A importância do acompanhamento da dosagem de concreto da central: potencialização de qualidade com uso de aditivos – controle de qualidade. **Revista Arq-Engenharia**, Mato Grosso, v. 2, n. 2, p. 178-194, 2024.

ANDRADE, M. A.; BALESTRIN, F. Análise das propriedades mecânicas do concreto: influência de diferentes percentagens de aditivo plastificante. **Revista FT**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 128, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM. São Paulo: **ABESC**, 2023.

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

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

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: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778: argamassa e concreto endurecido – determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12821: moldagem e cura de corpos de prova de concreto – procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605: cimento Portland e outros materiais em pó – determinação da massa específica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697: cimento Portland – requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

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

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

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17054: agregados – determinação da composição granulométrica – método de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

BARAN, T.; PICHNIARCZYK, P. Correlation factor between heat of hydration and compressive strength of common cement. **Construction and Building Materials**, v. 150, p. 321–332, 2017.

BARBHUIYA, S. et al. Low carbon concrete: advancements, challenges and future directions in sustainable construction. **Discover Concrete and Cement**, v. 1, n. 3, 2025.

BILESKEY, P.; SILVA, J.; COSTA, M. Influência da natureza petrográfica do agregado graúdo no módulo de elasticidade do concreto. CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 60., 2018, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: IBRACON, 2018.

CALATRONE, L. S. R.; SOARES, E. M. N.; SALOMÃO, P. E. A. **Aditivos populares de cimento e concreto**. Minas Gerais: [s. n.], 2021.

CAMARGO, M. V. de; FERRARI, V. J. Resistência à compressão e módulo de elasticidade do concreto por meio de ensaios não destrutivos (END). **Revista Matéria**, v. 26, n. 3, 2021.

CHEN, Y. et al. Resource utilization strategies for spent pot lining: a review of the current state. **Separation and Purification Technology**, v. 300, p. 121816, 2025.

COSTA, V. A. S. de S. et al. Estudo comparativo de traços de concreto de alta resistência com diferentes tipos de cimentos e aditivos polifuncionais. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 10, 2022.

DREHER, A. L.; NUNES, J. S.; POLESELLO, E. **Estudo da interação entre cimento tipo CP IV com diferentes marcas de aditivos plastificantes**. São Paulo: IBRACON, 2019.

EL-DOMANY, T. E. A. M. Concrete additives. **International Journal of Advances Engineering and Civil Research**, v. 3, n. 2, p. 27–37, 2023.

GIL, P. Mercado do concreto movimenta R\$ 30 bilhões no ano. **Revista Veja**. São Paulo: 2024.

GIRARDI, R.; DAL MOLIN, D.; RECENA, F. Portland cement concrete deformation modulus: influence of paste volume. **ACI Materials Journal**, v. 117, n. 1, 2020.

GONÇALVES, E. C. Z. et al. Aditivos e adições no concreto. **Global Science and Technology**, v. 12, n. 1, p. 88–102, 2020.

GURGEL NETO, J. W. O. **A influência do aditivo plastificante na resistência do concreto**. Ceará, p. 11–17, 2023.

HELENE, P.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: IPT/EPUSP, 1992.

INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO (IBRACON). **Concreto & Construções**. São Paulo, n. 117, p. 37–38, jan./mar. 2025.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Technology roadmap: low-carbon transition in the cement industry*. Paris: **International Energy Agency**, 2018.

KIMSANOVICH, A. Plasticizing additives for concrete. **Central Asian Journal of STEM**, v. 1, 2021.

KRIPKA, M. et al. Avaliação comparativa das emissões de estruturas em concreto armado produzidas no sul do Brasil. **Revista Concreto & Construções**, v. 119, 2025.

LEAL, C. E. F. et al. Comparação entre módulos de deformação de concretos nacionais produzidos com agregados graúdos de diferentes origens mineralógicas. **Revista Matéria**, v. 25, n. 4, 2020.

LIMA, M. V. V. et al. Um comparativo em níveis de consistência de aditivos plastificante e superplastificante em função do tempo de mistura. **Gestão e Gerenciamento**, n. 8, p. 62–68, 2018.

LUCENA JÚNIOR, A. C. de. **Análise da influência de aditivo plastificante na trabalhabilidade, consumo de cimento e resistência do concreto**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso – UFGD, Mato Grosso do Sul, 2018.

MACIEL, L. D. Estudo das propriedades do concreto convencional com aditivo ou adição de água para correção de consistência. **Revista Matéria**, v. 25, n. 4, 2020.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. de M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 2. ed. São Paulo: Ipsis, 2014.

MELO, L. S. et al. Estudo comparativo da influência de aditivos nas resistências mecânicas do concreto convencional. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, 2020.

MOHAMMED, I. I. et al. Natural and chemical admixtures in concrete: a review. **Eurasian Journal of Science and Engineering**, v. 9, n. 3, p. 108–123, 2024.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2016.

OLIVEIRA VALIN JR, Marcos de; NATALÍNA CHIQUITO, Aparecida. USO DE ADITIVO PLASTIFICANTE PARA CONCRETO APLICADO COM MAIS DE 150 MINUTOS. **Proficientia**, [S. l.], n. 14, p. 25–40, 2020.

PEDROSO, M. A. da S. et al. Análise da trabalhabilidade do concreto com uso de três aditivos plastificantes quanto à manutenção de abatimento. **Revista Eletrônica Multidisciplinar UNIFACEAR**, v. 1, n. 6, 2024.

RIBEIRO, A. V. S.; PEREIRA, L. A.; OLIVEIRA, J. P. **Análise da influência de diferentes tipos de aditivos redutores de água em concreto**. São Paulo: IBRACON, 2020.

ROCHA, F. et al. **Descarbonização na indústria brasileira: desafios e janelas de oportunidade — cadeia produtiva do cimento**. Rio de Janeiro: IE/UFRJ, 2025.

RODRIGUEZALAYO, W. A. Aditivo plastificante en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto convencional para edificaciones urbanas. **Revista Científica de Ingeniería y Arquitectura**, v. 1, n. 1, p. 1–14, 2021.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. Cimento: indústria cresce e apresenta o Roadmap Netzero na COP30. Rio de Janeiro: **SNIC**, 2025.

VENANCIO, R. J. C. Estudo da influência dos aditivos redutores de água de bases químicas distintas no comportamento de pastas de cimento Portland no estado fresco. SIMPÓSIO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DO CIMENTO, 1., 2023. **Anais [...]**. São Paulo: ANTAC, 2023.