

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

ÍNDICE DE PRODUTIVIDADE HÍDRICA COM USO DE SUPERPLASTIFICANTES PARA EFICIÊNCIA NO CANTEIRO DE OBRAS

Murillo Anderson Gonçalves Barbosa¹; Pedro Matheus de Oliveira Santos²; Simão Pedro da Silva e Silva²; Elton de Souza Góes³; Juan Martin Carrizo³; Larissa Pollyana Correa da Silva⁴; Kelly Anselmo de Souza⁵; Mara Danielly Barbosa de Souza⁶

RESUMO

O setor da construção civil consome grandes volumes de água potável, especialmente na produção de concreto, o que exige alternativas mais eficientes e sustentáveis diante do cenário de escassez hídrica global. Por meio deste trabalho analisa-se a produtividade hídrica na produção de concreto, comparando o desempenho entre concretos convencionais e concretos aditivados com superplastificantes. A pesquisa adota abordagem quantitativa, com base em dados secundários simulados a partir de estudos técnico-científicos que abordam o consumo de água em diferentes formulações de concreto. O Índice de Produtividade Hídrica (IPH), inspirado em sua aplicação na agricultura irrigada, foi utilizado como métrica principal para avaliar a eficiência no uso da água. Os dados foram organizados em dois grupos — controle (sem aditivo) e experimental (com aditivo) — e analisados estatisticamente com o teste t de Student, considerando hipótese unilateral e nível de significância de 5%. Os resultados indicam uma redução média de 21,1% no consumo de água no grupo com superplastificante, além de um aumento de 26,8% no IPH, evidenciando ganhos significativos em eficiência hídrica. O p-valor extremamente baixo ($p = 4,84 \times 10^{-20}$) confirma a diferença estatística entre os grupos. A discussão é complementada com gráficos boxplot e comparação com práticas de monitoramento hídrico do setor agrícola. Conclui-se que os superplastificantes representam uma estratégia viável para promover a sustentabilidade no canteiro de obras, otimizando recursos e reduzindo impactos ambientais. Apesar das limitações do estudo, os resultados apontam para o potencial do IPH como ferramenta de gestão hídrica na construção civil.

Palavras - chave: Eficiência hídrica. Sustentabilidade. Concreto de alto desempenho. Construção enxuta. Uso racional da água.

1) Doutor em Ciências Agrárias, Eng. Civil, Professor Titular da UniFTC, Salvador, Bahia, (71) 9 9302 3068, murilloanderson@hotmail.com

2) Discente do Curso de Graduação em Engenharia Civil, UNIFTC, Salvador, Bahia, (71) 9 9670 8724, simao.silva@aluno.uniftc.edu.br

3) Professor Mestre do Curso de Graduação em Engenharia Civil, UNIFTC, Salvador, Bahia.

Doutoranda em Engenharia Agrícola, UFRB, Cruz das Almas, Bahia.

3) Professor Mestre do Curso de Graduação em Engenharia Civil, UNIFTC, Salvador, Bahia.

Doutoranda em Engenharia Agrícola, UFRB, Cruz das Almas, Bahia.

4) Bacharel em Engenharia Elétrica, VALE, Vitória, Espírito Santo.

5) Doutoranda em Engenharia Agrícola, UFRB, Cruz das Almas, Bahia.

6) Bacharel na área de saúde, especialista em Contabilidade, URCA, Iguatu, Ceará.

ABSTRACT

The construction industry is a major consumer of potable water, particularly in concrete production, which calls for more efficient and sustainable alternatives amid increasing global water scarcity. This study evaluates water productivity in concrete manufacturing by comparing the performance of conventional mixes and those incorporating superplasticizer admixtures. A quantitative approach was employed, based on simulated secondary data drawn from scientific and technical literature concerning water usage in various concrete formulations. The Water Productivity Index (WPI), adapted from irrigated agriculture, was adopted as the primary metric to assess water use efficiency. The dataset was organized into two groups—control (without admixture) and experimental (with admixture)—and statistically analyzed using a one-tailed Student's t-test with a 5% significance level. Results indicated a 21.1% average reduction in water consumption and a 26.8% increase in WPI in the experimental group, demonstrating substantial improvements in water efficiency. The very low p-value ($p = 4.84 \times 10^{-20}$) confirms the statistical significance of the findings. The discussion is supported by boxplot visualizations and comparative insights from agricultural water management practices. The study concludes that superplasticizers offer a viable strategy to enhance sustainability on construction sites by optimizing water usage and reducing environmental impact. Despite the study's limitations, the results reinforce WPI's potential as a replicable tool for water management in civil construction.

Keywords: Water efficiency. Sustainability. High-performance concrete. Lean construction. Rational water use.

1. INTRODUÇÃO

A construção civil é reconhecida como uma das atividades humanas mais intensivas no uso de recursos naturais, destacando-se pelo elevado consumo de água potável em diversas etapas do processo construtivo, especialmente na produção do concreto. Embora a discussão sobre eficiência hídrica seja amplamente difundida na agricultura, ela ainda carece de maior aprofundamento teórico e prático no contexto da engenharia civil. Estima-se que o setor da construção civil seja responsável por cerca de 16% de todo o consumo de água potável do planeta (UNEP, 2020), sendo que apenas a produção do concreto consome de 120 a 200 litros por metro cúbico ((MEDEIROS; ANDRADE; HELENE, 2011).

O concreto convencional é uma mistura homogênea composta por cimento Portland, agregados (miúdos e gráudos), água e, em alguns casos, adições minerais. Essa formulação clássica, ainda majoritária nos canteiros de obras brasileiros, depende de uma alta relação água/cimento para garantir trabalhabilidade, o que compromete o desempenho mecânico e a durabilidade da estrutura (HELENE; TERZIAN, 1992).

Em contrapartida, os superplastificantes são aditivos químicos de alto desempenho que permitem reduzir significativamente o teor de água na mistura, sem prejuízo à consistência e à fluidez do concreto. Segundo Dal Molin, Vieira e Pereira (2019), esses aditivos atuam na dispersão das partículas de cimento, reduzindo a tensão superficial e facilitando a moldagem com menor consumo hídrico. Isso possibilita uma relação água/cimento mais baixa, com ganhos em resistência e sustentabilidade.

Nesse cenário, o debate sobre o uso racional da água no setor da construção passa a ser guiado por dois conceitos centrais: eficiência do uso da água e produtividade da água. A eficiência do uso da água (EUA) refere-se à razão entre o volume efetivamente aproveitado na produção e o volume total de água disponibilizado ou consumido no processo (FAO, 2012). Já a produtividade da água (PA)

corresponde à quantidade de produto obtido por unidade de água utilizada, sendo uma medida da relação entre benefício e insumo hídrico (BARBOSA, 2015; FRIZZONE e MELO, 2022). Embora largamente adotados na engenharia agrícola, esses indicadores ainda são pouco explorados na construção civil, o que abre espaço para abordagens inovadoras no campo da sustentabilidade.

A partir dessas premissas, este trabalho propõe uma análise do uso da água na produção de concretos convencionais e concretos com aditivos superplastificantes sob a ótica da produtividade hídrica. A pergunta-problema que orienta esta pesquisa é: É possível ampliar a eficiência do uso da água na construção civil mediante a aplicação do conceito de produtividade hídrica?

A justificativa para esse estudo repousa sobre três eixos principais: (i) a relevância social da água como recurso finito e essencial; (ii) a urgência de adotar práticas sustentáveis no setor da construção civil, um dos mais impactantes do ponto de vista ambiental; e (iii) o interesse acadêmico e pessoal do autor em ampliar a fronteira teórica da eficiência hídrica para além do setor agrícola, onde a discussão está mais consolidada.

Do ponto de vista metodológico, a pesquisa é de caráter exploratório e descritivo, com base em dados secundários obtidos de estudos recentes sobre consumo hídrico na produção de concreto convencional e concreto com aditivos superplastificantes. A análise dos dados foi realizada por meio de técnicas estatísticas utilizando o software R, bem como com apoio de visualizações em planilhas eletrônicas. O principal indicador adotado é o Índice de Produtividade Hídrica (IPH), medido pela razão entre o volume de concreto produzido e o volume de água consumido ($IPH = m^3 \text{ concreto} / m^3 \text{ água}$).

Na fundamentação teórica, autores como Barbosa (2015), Frizzone e Melo (2022) e Pereira et al. (2020) discutem os fundamentos da produtividade hídrica, destacando suas aplicações em contextos agrícolas. A transferência deste conceito para a construção civil está em consonância com os princípios da engenharia sustentável (JOHN, 2015) e das práticas de construção enxuta. Os superplastificantes são abordados por autores como Dal Molin et al. (2019) e Silva et al. (2021), que apontam seu potencial de reduzir a relação água/cimento sem comprometer o desempenho do concreto, o que os torna aliados fundamentais na busca por maior produtividade hídrica no canteiro de obras.

A presente pesquisa analisa a eficiência hídrica no canteiro de obras por meio do Índice de Produtividade Hídrica (IPH), considerando o impacto do uso de superplastificantes no menor consumo de água por metro cúbico de concreto produzido. O objetivo central é verificar, a partir de dados simulados e adaptados de pesquisas técnico-científicas consolidadas, a relação entre aditivo e eficiência hídrica, contribuindo para o planejamento e a gestão sustentável dos recursos hídricos no setor da construção civil. Este estudo contribui para o eixo temático ‘Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos e Segurança Hídrica’ do XXVI SBRH, ao indicar alternativas para melhorar a eficiência no uso da água e colaborar para o cumprimento de metas de sustentabilidade e preservação hídrica no setor da construção civil.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram adaptados dados simulados de pesquisas de WANG et al. (2024) e WIYANTI e LAKSONO (2020) para representar diferentes dosagens e rendimentos para concretos com e sem aditivo superplastificante. Os cálculos estatísticos consideraram amostras de $n = 10$ para cada grupo, com nível de significância de 5% (TRIOLA, 2019). Os traços e controle de concreto seguiram as diretrizes da ABNT NBR 12655:2022 e ABNT NBR 11768-1:2011. A metodologia proposta

estabelece um paralelo entre os conceitos de eficiência do uso da água em sistemas agrícolas (FRIZZONE e MELO, 2022; BARBOSA, 2015) e sua aplicabilidade no setor da Construção Civil.

2.1. Levantamento e estruturação dos dados

Foram sistematizados dados de consumo de água e produção de concreto com e sem adição de superplasticificantes, com base em estudos recentes e consolidados da literatura internacional. Por exemplo, WANG et al. (2024) analisaram diferentes dosagens de superplasticificantes policarboxílicos em concretos de alto desempenho, destacando sua influência na redução do consumo hídrico. WIYANTI e LAKSONO (2020) conduziram experimentos controlados e comprovaram que a adição de 1% de superplasticificante pode resultar em melhoria significativa da resistência à compressão e menor demanda de água. Por sua vez, JOHN (2015) reforça a importância do uso de tecnologias sustentáveis, como os aditivos químicos, no contexto da construção civil brasileira.

A partir dessas referências, foram simuladas condições típicas de canteiros de obras com e sem aditivos redutores de água, estruturando-se os dados para posterior análise estatística. Os dados foram simulados com base nas faixas apresentadas por WANG et al. (2024), WIYANTI e LAKSONO (2020) e JOHN (2015). A variação foi definida considerando uma distribuição normal, com média e desvio padrão retirados dos estudos originais, para representar as diferenças típicas de dosagem e eficiência hídrica entre concretos com e sem aditivos. A amostra foi definida considerando uma distribuição normal para representar variações típicas de campo, ampliando a robustez e a representatividade estatística dos dados simulados. Dessa maneira, a simulação não reflete apenas uma única condição experimental, mas uma faixa de variações que tornam o modelo mais próximo das situações reais enfrentadas no canteiro de obras.

2.2. Cálculo da produtividade hídrica

Foi adotado o conceito de Índice de Produtividade Hídrica (IPH), análogo ao utilizado na engenharia agrícola, definido na Equação 1.

$$IPH = \frac{VAC}{VCP} \quad (1)$$

Em que:

VAC = volume de água consumida (m^3).

VCP = volume de concreto produzido (m^3).

Este índice expressa o rendimento da água utilizada em função do volume de concreto produzido, permitindo comparações entre diferentes condições de dosagem de aditivos.

2.3. Análise estatística

Para verificar se o uso de superplasticificantes resulta em diferença estatisticamente significativa no consumo de água, foi aplicado o teste t de Student para duas amostras independentes, considerando hipótese unilateral (H_1 : média do grupo controle > média do grupo com superplasticificante) e nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$).

Esse teste foi escolhido por ser adequado à comparação de médias entre dois grupos com distribuições aproximadamente normais e variâncias semelhantes, especialmente quando o objetivo é identificar se um grupo apresenta média significativamente maior que o outro (TRIOLA, 2019). No presente caso, deseja-se verificar se o concreto convencional consome mais água, em média, do que o concreto com aditivos, o que justifica a adoção da hipótese unilateral. O valor do teste t foi calculado com base na Equação 2.

Em que:

\bar{x}_1 : média do grupo controle ($L\ m^{-3}$)

\bar{x}_2 : média do grupo experimental ($L\ m^{-3}$)

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad (2)$$

s_1 : desvio padrão do grupo controle ($L\ m^{-3}$)

n_1 e n_2 : número amostral dos dois grupos.

O valor do p foi calculado com base na distribuição t de Student com graus de liberdade ajustados, segundo a aproximação de Welch–Satterthwaite. O cálculo seguiu a Equação 3.

$$gl = \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2} \right)^2}{\frac{(s_1^2/n_1)^2}{n_1-1} + \frac{(s_2^2/n_2)^2}{n_2-1}} \quad (3)$$

Com base nesse grau de liberdade e no valor da estatística t calculado, foi possível estimar o valor do p-valor unilateral a partir da distribuição t acumulada. Esse cálculo foi realizado utilizando a função `ttest_ind()` da biblioteca `scipy.stats`, no ambiente Python 3.11.

2.4. Ferramentas computacionais

As análises estatísticas foram realizadas no ambiente de programação Python, versão 3.11, por meio de um pipeline de dados estruturado com as bibliotecas pandas (manipulação de dados), seaborn e matplotlib (visualização gráfica), além de `scipy.stats` para os testes inferenciais.

Essa abordagem garante reprodutibilidade, transparência e precisão estatística, conforme recomendações de boas práticas em ciência de dados aplicadas à engenharia (WICKHAM; GROLEMUND, 2017). O código-fonte completo está disponível para auditoria e replicação dos resultados (Apêndices A, B, C e D).

2.5. Limitações

Este estudo baseia-se exclusivamente em dados simulados e adaptados de pesquisas anteriores (WANG et al., WIYANTI e LAKSONO, JOHN), não envolvendo experimentação direta ou coleta primária de dados. Dessa forma, embora apresente uma indicação clara de eficiência hídrica no canteiro de obras, não abrange todas as variações específicas de campo, como tipos de cimento, agregados e aditivos, ou diferentes condições climáticas e de controle de qualidade. Os resultados devem ser interpretados como uma tendência técnica para guiar futuras pesquisas experimentais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados simulados, organizados na Tabela 1, evidenciam uma diferença expressiva no consumo de água entre concretos produzidos com e sem o uso de superplasticificantes. O grupo controle (concreto convencional) apresentou consumo médio de 176,30 L m⁻³, com desvio padrão de 2,33 L m⁻³, enquanto o grupo experimental (com superplasticificantes) obteve média de 139,15 L m⁻³ e desvio padrão de 1,33 L m⁻³. Os valores do Índice de Produtividade Hídrica (IPH) também refletem esse contraste, sendo 5,67 m³/m³ no grupo controle e 7,19 m³/m³ no grupo experimental. Conforme apresentado na Tabela 1, as faixas de consumo variam entre 172,4 a 179,1 L/m³ no grupo convencional e entre 137,0 a 141,3 L/m³ no grupo com aditivos. A diferença observada foi analisada estatisticamente por meio do teste t de Student para duas amostras independentes, com hipótese unilateral (H_1 : média do grupo controle > média do grupo experimental) e nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$).

Tabela 1 – Consumo de água e volume de concreto produzido com e sem superplasticificantes

Estudo	Concreto convencional		Concreto com superplasticificante	
	Volume Água (L m ⁻³)*	IPH (m ³ m ⁻³)**	Volume Água (L m ⁻³)	IPH (m ³ m ⁻³)**
Wang et al. (2024)	178,40	5,61	139,20	7,18
	175,20	5,71	140,10	7,14
	173,00	5,78	138,00	7,25
	177,50	5,63	141,30	7,08
Wiyanti e Laksono (2020)	179,10	5,58	137,70	7,26
	172,40	5,80	140,50	7,12
	176,70	5,66	139,80	7,15
	174,80	5,72	137,00	7,30
John (2015)	177,90	5,62	138,90	7,20
	178,00	5,62	139,00	7,19
Desvio Padrão	2,33	0,08	1,33	0,07
Média	176,30	5,67	139,15	7,19

*Litros de água por m³ de concreto.

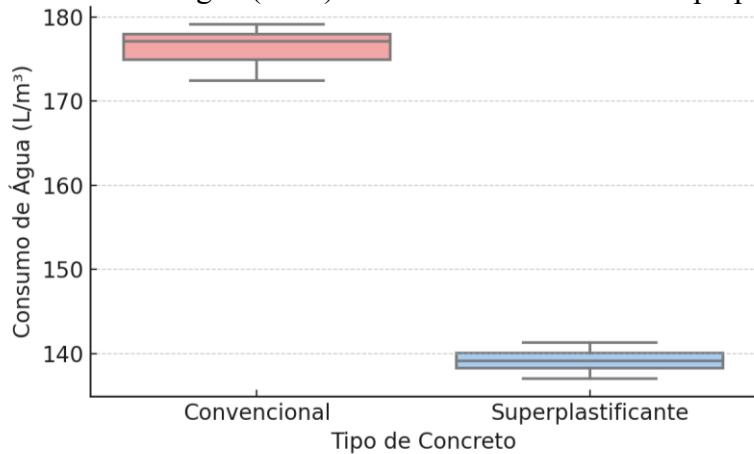
**m³ de concreto por m³ de água.

Fonte: elaboração própria com base em dados simulados a partir de WANG et al. (2024), WIYANTI e LAKSONO (2020) e JOHN (2015).

O teste resultou em $t = 43,79$, com $p\text{-valor} = 4,84 \times 10^{-20}$, indicando uma diferença estatística altamente significativa entre os grupos. Esse resultado demonstra que a probabilidade de se observar uma diferença tão extrema entre os grupos, assumindo a hipótese nula (igualdade entre as médias), é desprezível. Diante disso, rejeita-se H_0 com altíssimo grau de confiança, e confirma-se, com forte evidência estatística, que o uso de superplasticificantes proporciona redução significativa no consumo de água na produção de concreto. Segundo Triola (2019), p-valores inferiores ao nível de significância estabelecido ($\alpha = 0,05$) indicam evidência suficiente para rejeitar a hipótese nula e aceitar a hipótese alternativa. O valor do grau de liberdade (g) foi de aproximadamente 14,3.

O gráfico boxplot (Figura 1) reforça visualmente essa disparidade, evidenciando menor dispersão e menor média de consumo de água no grupo com superplasticificante.

Figura 1 – Consumo de água (L/m^3) em concretos com e sem superplastificante

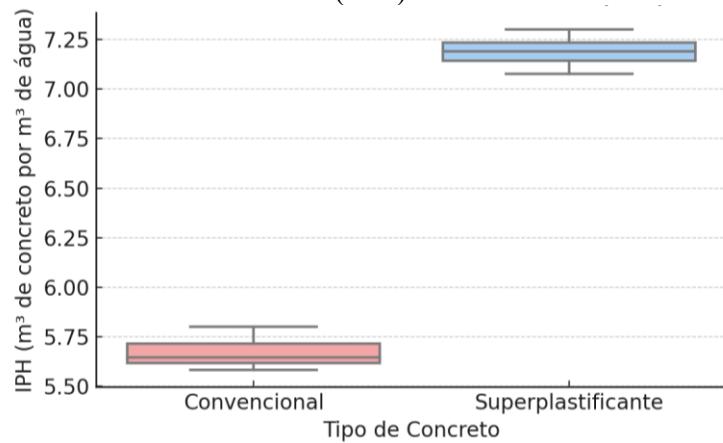


Fonte: elaboração própria com base nos dados simulados de Wang et al. (2024), Wiyanti e Laksono (2020) e John (2015).

3.1 Produtividade hídrica do concreto

O Índice de Produtividade Hídrica (IPH) médio no grupo controle foi de $5,67 \text{ m}^3/\text{m}^3$, enquanto no grupo com aditivo alcançou $7,19 \text{ m}^3/\text{m}^3$, representando um aumento de aproximadamente 26,8% na eficiência do uso da água. O gráfico boxplot (Figura 2) ilustra essa diferença, mostrando maior média e menor dispersão no grupo com superplastificante.

Figura 2 – Índice de Produtividade Hídrica (IPH) em concretos com e sem superplastificante



Fonte: elaboração própria com base nos dados simulados de Wang et al. (2024), Wiyanti e Laksono (2020) e John (2015).

Os dados obtidos estão alinhados com as conclusões apresentadas por WANG et al. (2024) e WIYANTI e LAKSONO (2020), que destacam ganhos similares (entre 15 e 25%) em eficiência hídrica quando superplastificantes são adicionados às misturas. Essa consistência reforça a relevância dos resultados para o planejamento e gestão sustentável no setor. Esses resultados indicam que o uso de superplastificantes promove ganhos reais de produtividade hídrica no canteiro, além de alinhar-se com práticas sustentáveis. Tais achados estão em consonância com estudos como o de Wang et al. (2024), que identificaram reduções médias de 15% no consumo de água em concretos de alto desempenho com superplastificantes policarboxílicos. Por sua vez, John (2015) destaca que tecnologias sustentáveis, como aditivos químicos, são essenciais para melhorar a eficiência e reduzir os impactos ambientais da construção civil.

Entretanto, a literatura também alerta para limitações. Neville (2016) ressalta que dosagens inadequadas de aditivos podem comprometer a coesão da mistura ou provocar segregações, o que reforça a importância do domínio técnico por parte da equipe de produção e da compatibilidade dos materiais empregados.

3.2 Comparação com setores agrícolas

A aplicação do IPH neste estudo é inspirada em sua utilização na agricultura irrigada, conforme discutido por Frizzone e Melo (2022) e expandido por Barbosa (2015). Essa analogia é pertinente, considerando que a construção civil, assim como a agropecuária, é um setor com elevado consumo hídrico e, frequentemente, práticas ineficientes.

Enquanto na agricultura o conceito de produtividade da água já é consolidado para planejamento e gestão, sua adoção na construção ainda é incipiente. Este trabalho, ao adotar o IPH como métrica, contribui para preencher essa lacuna e propõe uma abordagem quantitativa replicável para avaliar a eficiência do uso da água nos canteiros.

3.3 Sustentabilidade e desafios na implementação

A transição para práticas mais sustentáveis enfrenta desafios técnicos e estruturais no setor da construção civil. Muitos canteiros ainda não monitoram com precisão o consumo de água, e o uso de aditivos como superplasticificantes pode ser limitado pelo custo inicial, embora seus benefícios técnicos e ambientais sejam comprovados no médio e longo prazo (WIYANTI e LAKSONO, 2020). A relevância da eficiência hídrica torna-se ainda mais evidente diante de dados internacionais. Segundo a UNEP (2020), a construção civil é responsável por cerca de 7% do consumo global de água doce, com grande parte associada à produção de concreto. Nesse cenário, melhorar a produtividade da água não é apenas uma boa prática: trata-se de uma exigência ética, ambiental e econômica.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base em dados simulados a partir de estudos técnicos reconhecidos, os resultados demonstraram de forma clara que o uso de superplasticificantes pode reduzir significativamente o consumo de água na produção de concreto. O grupo experimental (com aditivos) apresentou uma média de consumo de 139,15 L/m³, contra 176,30 L/m³ no grupo controle. Esta diferença foi estatisticamente confirmada pelo teste t de Student ($t = 43,79$; $p = 4,84 \times 10^{-20}$), rejeitando-se a hipótese nula com altíssimo grau de confiança.

Além disso, o IPH médio aumentou de 5,67 m³/m³ no grupo controle para 7,19 m³/m³ no grupo com superplasticificante — um ganho de aproximadamente 26,8% na eficiência hídrica. Esse aumento na produtividade da água é especialmente relevante em um cenário de escassez hídrica global e pressões por práticas mais sustentáveis no setor da construção.

Do ponto de vista técnico, o trabalho contribui com a proposição de uma métrica objetiva e replicável para mensurar a eficiência hídrica no canteiro de obras. Ao adaptar conceitos consagrados da agricultura irrigada para a construção civil, o estudo abre caminho para novas abordagens de gestão ambiental no setor.

Entretanto, é importante reconhecer as limitações da pesquisa. Os dados utilizados foram simulados com base em faixas reais da literatura, o que restringe a generalização dos resultados a contextos específicos. A ausência de ensaios em campo impede a validação empírica direta dos achados, embora o modelo adotado seja robusto e bem fundamentado.

Sugere-se, como continuidade, a realização de estudos experimentais em escala real, envolvendo diferentes tipos de cimento, agregados e condições climáticas. Além disso, a aplicação do IPH em estudos comparativos intersetoriais pode ampliar o uso dessa métrica como ferramenta de planejamento hídrico em obras públicas e privadas.

A aplicação prática do IPH e do uso de superplastificantes poderá subsidiar diretrizes para contratos e normas específicas no setor, promovendo eficiência hídrica e sustentabilidade nos canteiros de obras. A continuidade desta pesquisa passa pela realização de ensaios laboratoriais e análises in loco para verificar experimentalmente as conclusões apresentadas e ampliá-las para diferentes contextos construtivos e climáticos. Dessa maneira, o presente estudo não apenas contribui para o planejamento e gestão de recursos hídricos e segurança hídrica no setor da construção civil, mas também aponta caminhos para futuras investigações e para a implementação de melhores práticas no setor.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, Murillo Anderson Gonçalves. **Viabilidade de investimento e análise de risco econômico em projetos de irrigação para produção de tomate no Agropolo Ibicoara-Mucugê, Bahia.** 2015. 193 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2015.

DAL MOLIN, Deni Cláudio Coutinho; VIEIRA, Daniel Medeiros; PEREIRA, Fabricio Moreira. Redução da água de amassamento com uso de aditivos superplastificantes: impacto na sustentabilidade do concreto. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, São Paulo, v. 12, n. 3, p. 741–759, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/riem/a/RzMQCYtVd5MKZMCgmnPcJxP>. Acesso em: 6 jun. 2025.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Coping with water scarcity: an action framework for agriculture and food security.** Rome: FAO, 2012. Disponível em: <https://www.fao.org/3/i3015e/i3015e.pdf>. Acesso em: 6 jun. 2025.

FRIZZONE, José Antônio; MELO, Verônica Gaspar Martins Leite de. **Produtividade da água na agricultura irrigada.** Piracicaba: ESALQ/USP, 2022. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/003082792>. Acesso em: 6 jun. 2025.

HELENE, Paulo; TERZIAN, Paulo. **Manual de dosagem e controle do concreto.** São Paulo: PINI, 1992.

JOHN, Vanderley M. Construção civil e sustentabilidade: uma abordagem integrada. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 15, n. 2, p. 5–18, abr./jun. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-86212015000200002>. Acesso em: 6 jun. 2025.

MEDEIROS, Marcelo H. F. de; ANDRADE, Jairo J. de Oliveira; HELENE, Paulo. **Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto.** São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2011. Disponível em: <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/07/lc55.pdf>. Acesso em: 6 jun. 2025.

PEREIRA, Amauri Rodrigues; SEDIYAMA, Gilberto Carlos; TEIXEIRA, Adunias Harand Corrêa. Eficiência do uso da água e produtividade da água na agricultura irrigada. **Revista Brasileira de**

Agricultura Irrigada, Fortaleza, v. 14, n. 3, p. 1–14, 2020. DOI: <https://doi.org/10.7127/rbai.v14n300877>. Acesso em: 6 jun. 2025.

SILVA, José Maurício Rodrigues da; OLIVEIRA, Larissa Rocha de; COSTA, Lucas Teixeira. Desempenho do concreto com uso de aditivos superplasticificantes. **Revista Engenharia Civil**, Salvador, v. 29, n. 1, p. 17–24, 2021. Disponível em: <https://www.revistaengenhariacivil.ufba.br>. Acesso em: 6 jun. 2025.

TRIOLA, Mario F. **Introdução à estatística**. 12. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019.
UNEP – UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **2020 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector**. Nairobi: UNEP, 2020. Disponível em: <https://globalabc.org/resources/publications/2020-global-status-report-buildings-and-construction>. Acesso em: 6 jun. 2025.

WANG, Xiaozhi et al. Effect of dose and types of the water reducing admixtures and superplasticizers on concrete strength and durability behaviour: a review. **Construction and Building Materials**, [s. l.], v. 399, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131347>. Acesso em: 6 jun. 2025.

WIYANTI, Retno; LAKSONO, Hananto. Analysis of the effects of superplasticizer addition and water reduction in concrete mixture on concrete compressive strength. **Journal of Building Materials**, Surakarta, v. 4, n. 1, p. 10–18, 2020. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/342206704>. Acesso em: 6 jun. 2025.

WICKHAM, Hadley; GROLEMUND, Garrett. **R for Data Science: import, tidy, transform, visualize, and model data**. Sebastopol: O'Reilly Media, 2017. Disponível em: <https://r4ds.had.co.nz/>. Acesso em: 6 jun. 2025.