ESTRATÉGIAS PARA O CONSUMO SUSTENTÁVEL DE ÁGUA NO SETOR DA CONSTRUÇÃO: AVALIANDO A PEGADA HÍDRICA DE RESIDÊNCIAS NO SEMIÁRIDO NORDESTINO

Strategies for Sustainable Water Consumption in the Construction Sector: Assessing the Water Footprint of homes in the semi-arid northeast

Jaianny Mendes Silva Cavalcante
Universidade Federal do Ceará | Crateús, CE| jaiannymcavalcante@gmail.com

Francisco Floriano Oliveira Bezerra
Universidade Federal do Ceará | Crateús, CE| floriano@alu.ufc.br

Alan Michell Barros Alexandre
Universidade Federal do Ceará | Crateús, CE| alanmichell@crateus.ufc.br

Luis Felipe Cândido
Universidade Federal do Ceará | Crateús, CE| luisfcandido2015@gmail.com

RESUMO

Fornecer água potável para todos é um dos maiores desafios do século 21, especialmente nos países em desenvolvimento. Nesse contexto, o setor da construção civil pode contribuir sensivelmente por possuir uma alta Pegada Hídrica (PH). No entanto, estudos abrangentes sobre o tema no setor ainda são incipientes. A literatura indica que há fases em que o consumo de água é negligenciado, com etapas pouco exploradas, além da ausência de dados e informações. Assim, esse estudo analisou a PH de uma construção típica de uma cidade do nordeste brasileiro. Verificou um PH total de 37,46 m³/m², com grande parte (33,37m³/m²) relacionado à mão de obra. Isso indica que o consumo de água para mão de obra em edificações menores é proporcionalmente mais significativo e requer maior atenção. Ainda, verificou-se que a etapa de estruturas foi responsável por cerca de 50% da PH. Ainda, comparou-se alternativas de baixo impacto nos custos que poderiam reduzir o consumo de água da construção. Assim, ao expandir as evidências sobre a PH, o estudo contribui com as pesquisas sobre o tema e forneceu subsídios para o aprimoramento de práticas para o uso racional de água somando-se aos esforços intergovernamentais pelo desenvolvimento sustentável.

Palavras-chave: Recursos Hídricos; Construção Civil; Sustentabilidade.

ABSTRACT

Providing access to safe drinking water for all remains one of the greatest challenges of the 21st century, particularly in developing countries. In this context, the construction sector can play a significant role due to its high amount of Water Footprint (WF). However, comprehensive studies on this issue within the sector are still scarce. The literature highlights that certain stages of construction are overlooked in terms of water consumption, with underexplored phases and a lack of data and information. Therefore, this study analyzed the WF of a typical building in a city in northeastern Brazil. The total WF was found to be 37.46 m³/m², with a substantial share (33.37 m³/m²) attributed to labor. This finding indicates that water consumption related to labor in smaller buildings is proportionally more significant and demands greater attention. Furthermore, the structural stage accounted for approximately 50% of the total WF. The study also compared low-cost alternatives that could reduce water use in construction. By expanding the available evidence on the WF, this research contributes to the academic debate and supports the improvement of practices aimed at the rational use of water, aligning with intergovernmental efforts toward sustainable development.

Keywords: Water Resources; Construction Industry; Sustainability.

1 INTRODUÇÃO

O fornecimento de água potável tem se caracterizado como um grande desafio, mesmo no Brasil, devido à suas grandes diferenças climáticas (Teston *et al.*, 2018) e a distribuição desigual dos recursos hídricos no território (Motta *et al.*, 2023). No nordeste brasileiro a situação toma um contorno mais premente. Especificamente no Ceará, o problema da água não se encerra nas várias secas amplamente documentadas, como de 2012 a 2017, mas na poluição que degrada a qualidade da água; o elevado custo econômico e financeiro de disponibilização; e conflitos entre atores que muitas vezes possuem interesses contraditórios para o uso desse recurso (Souza Filho, 2023). Assim, o bom uso da água torna-se crucial.

Nesse contexto, a construção civil pode contribuir significativamente, visto que utiliza diversos recursos naturais, destacando-se a água (Souza, 2014). De acordo com Pereira (2018) a indústria da construção consome aproximadamente 17% do volume de água doce mundial, podendo chegar a 25% em países industrializados. Porém, estudos abrangentes sobre a água incorporada nesse setor ainda são incipientes (Dixit; Kumar; Haghighi, 2022; Rauf *et al.*, 2024). A literatura indica que há fases em que o consumo de água é negligenciado, além da ausência de dados e informações (Spadotto; Gadda; Nagalli, 2022).

A quantificação água direta e indireta necessária para se produzir um produto ou serviço é conceitualizada como Pegada Hídrica (PH) (Hoekstra; Hung, 2002). De acordo com Waidyasekara, Silva e Rameezdeen (2016), a quantificação da água é um dos principais impulsionadores para eficiência e conservação do uso da água durante a construção. Conhecer o consumo é necessário para formular estratégias para sua conservação e gestão (Crawford; Pullen, 2011).

Assim, alguns estudos têm buscado determinar a PH em diferentes regiões. Por exemplo, Crawford e Pullen (2011) calcularam um PH de um edifício residencial australiano convencional como 31,3 m³/m². O edifício foi construído com paredes de tijolos revestidos com estrutura de madeira, telhado de concreto, piso de carpete e cerâmica e revestimentos internos de gesso cartonado pintado. Heravi e Abdolvand (2019) chegaram ao valor de 20,8m³/m² em seu estudo com seis edifícios residenciais com estruturas de concreto armado em Teerã, capital do Irã. Já Rauf *et al.*(2024) verificaram um valor de 20,33 m³/m² para uma vila de casas típicas nos Emirados Árabes Unidos , construída com concreto armado, com vedações em bloco de concreto, reboco de cimento, pintura e revestimento, com mármore e cerâmica em algumas áreas.

Já no Brasil, Almeida (2023) analisou uma casa construída pelo programa Minha Casa Minha Vida de 42 m² e obteve um valor de 2,76 m³/m² para os materiais, enquanto Silva e Gotardo (2013), para uma edificação de 2241 m², chegou ao valor de 4,52 m³/m², também para os materiais. Já uma pesquisa mais ampla, realizada por Souza (2014), mostrou que o consumo direto de água potável para um empreendimento de construção residencial na cidade de Fortaleza foi de 31,95m³/m² (591.172,35m³, no total). Considerando 147,9 litros/pessoa X dia, este número, seria o suficiente para abastecer, durante um ano, uma cidade de cerca de 10 mil habitantes. Se for considerado o consumo direto e indireto (93,98m³/m²), a água necessária seria suficiente para abastecer a mesma população durante 4 anos. Comum aos estudos sobre PH no setor, verifica-se a variação do consumo de acordo com a tecnologia e tipologia da construção, assim como com o local de execução, sendo o maior e mais destoante deles identificado no Brasil (93,98m³/m²), evidenciando a necessidade de buscar o aprimoramento desse tipo de análise.

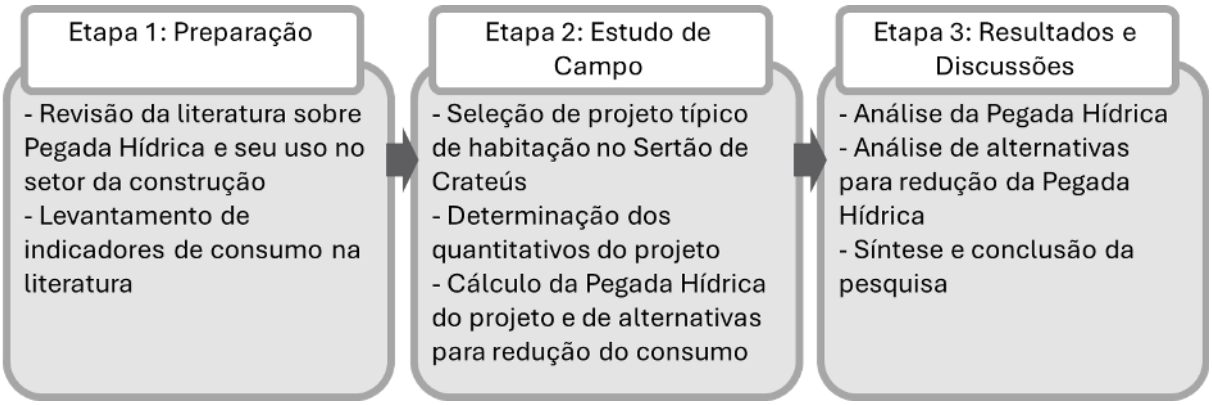
Assim, carece-se de informações mínimas como o consumo de água na produção habitacional para uma maior conscientização sobre os recursos hídricos e sua gestão, e para desenvolver tecnologias que tirem melhor proveito do ciclo de vida da água. Isso torna-se crucial, pois o setor tem um grande desafio que é a provisão de 6 milhões de habitações (Fundação João Pinheiro, 2021), ao passo que o padrão tecnológico de construção, ainda é caracterizado pelo predomínio de uma produção artesanal (Kempton; Syms, 2009), uso intensivo de mão de obra (YANG; PAN; PAN, 2019) e baixa intensidade tecnológica (Nykamp, 2017), que possui seus impactos sobre o consumo de recursos hídricos.

Neste sentido, essa pesquisa analisou a pegada hídrica de uma construção típica de uma cidade do Nordeste brasileiro. Foi possível identificar a PH hídrica total da edificação, por etapa de construção e comparar alternativas de baixo impacto nos custos que poderiam ser implementadas a fim de reduzir o consumo de água na construção.

2 MÉTODO DE PESQUISA

Esse estudo foi desenvolvido em três etapas, conforme a Figura 1.

Figura 1: Delineamento da pesquisa



Fonte: dos autores.

2.1 PREPARAÇÃO

Realizou-se uma revisão da literatura na base da SCOPUS sobre Pegada Hídrica e seu uso no setor da construção, com o seguinte mecanismo de pesquisa: TITLE-ABS-KEY(("building construction" OR "building sector" OR "construction industry" OR "Construction of Buildings" OR "Construction Sector" OR "housebuilding" OR "housing" OR "public buildings" OR "Real estate" OR "residential building" OR "residential building" OR "residential built environment" OR "Built environment") AND ("Water Footprint" OR "Methodology water consumption" OR "embodied water" OR "Virtual Water" OR "Life Cycle Water Analysis" OR "Water Embodied" OR "Embodied Water Analysis" OR "Water use efficiency" OR " life-cycle water footprint")). Essa busca resultou em 216 trabalhos, que foram reduzidos para 179 artigos de periódicos de 1970 a 2025. Após leitura de título e resumo, identificaram 98 trabalhos aderentes ao escopo da pesquisa.

Desse total, apenas 4 trabalhos nacionais e nenhum deles apresentou a PH total de uma edificação (Cureau; Ghisi, 2019; Marinoski; Rupp; Ghisi, 2018; Saade *et al.*, 2014; Spadotto; Gadda; Nagalli, 2022). Desta forma, adicionou-se os trabalhos nacionais de Silva e Gotardo (2013), Sousa (2014) e Almeida (2023) para se ter parâmetros de pegada nacional. Desses, apenas o de Sousa (2014) calculou a pegada hídrica total, confirmando a incipiência de estudos nacionais. Dessa forma, optou-se por seguir a metodologia adaptada de Sousa (2014) que teve por base o trabalho de Hoekstra *et al.* (2011) para o cálculo da Pegada Hídrica no setor de construção.

Em seguida, realizou-se um levantamento de indicadores de consumo de água por tipo de serviço, conforme o Quadro 1.

Quadro 1: Estudos sobre Pegada hídrica e etapas de obra analisadas.

Etapa/serviço	Bardhan (2011)	Crawford e Pullen (2011)	Silva e Violin (2013)	Sousa (2014)	Saade *et al.* (2014)	Gerbens-Leenesa, Hoekstra e Bosman (2018)	Heravi e Abdolvand (2019)	Silva e Gotardo (2013)	Lopes (2020)	Almeida (2023)	Rauf *et al.* (2024)
Serviços preliminares											
Infraestrutura/ fundação	X	X		X	X	X	X		X	X	X
Estrutura	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
Alvenaria/vedação/ divisória		X	X	X	X		X	X		X	X
Coberta		X					X			X	X
Revestimento/forro		X		X			X	X		X	X
Pisos		X		X			X			X	X
Esquadrias		X		X	X		X			X	X
Vidros/espelhos		X		X			X			X	X
Pintura /acabamento		X		X			X			X	X
Impermeabilização											
Instalações hidrossanitárias e águas pluviais		X		X	X						
Instalação elétrica		X		X	X						

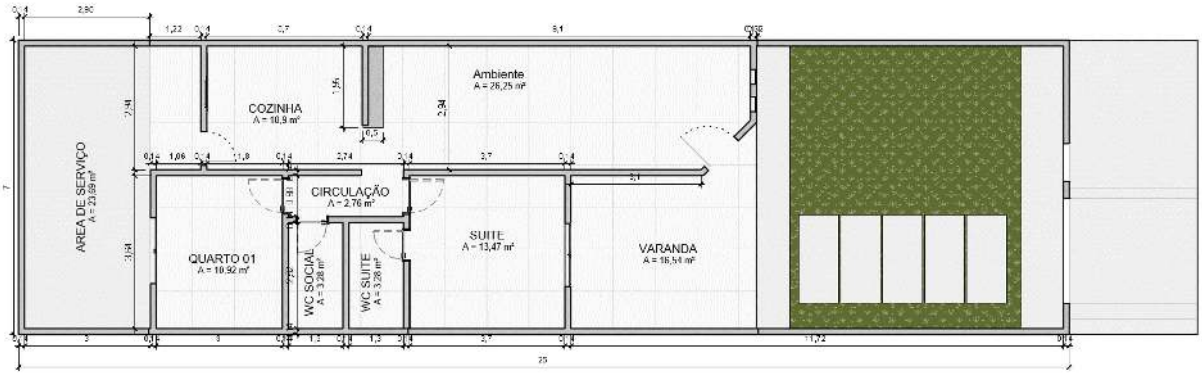
Fonte: dos autores.

Verifica-se uma maior concentração de estudos nas etapas de infraestrutura e estrutura, enquanto há uma ausência de estudos para serviços preliminares e impermeabilização. Ainda, poucos estudos para todas as etapas, sendo Souza (2014) o mais completo nacionalmente e Crawford e Pullen (2011), Heravi e Abdolvand (2019) e Rauf et al. (2024), internacionalmente.

2.2 ESTUDO DE CAMPO

Semelhante a outros estudos (Crawford; Pullen, 2011; Rauf *et al*., 2024), inicialmente selecionou-se um projeto típico de habitação, representativo das edificações erguidas em uma região, na cidade de Crateús, Ceará. Crateús é uma cidade de médio porte com cerca de 76 mil habitantes (IBGE, 2022), situado na região oeste do estado, a aproximadamente 350 km da capital, Fortaleza. Ela está localizada na região semiárida do nordeste brasileiro, podendo ser tomada como referência para outras cidades da região, razão pela qual foi escolhida para o estudo. Para Oliveira (2019), uma edificação típica da região inclui dois quartos, um banheiro, cozinha, sala de estar e garagem. Procurou-se uma construtora que confirmou a informação e forneceu um projeto de uma edificação para a análise. A residência analisada possui um terreno de 175, 00 m² e 97,28 m² de área construída e é composta por uma garagem, sala de estar, cozinha, dois quartos, dois banheiros e uma lavanderia, conforme a Figura 2.

Figura 2: Delineamento da pesquisa



Fonte: dos autores.

A edificação possui projeto arquitetônico, elétrico e hidrossanitário desenvolvidos e aprovado. Dessa forma, foi necessário desenvolver um projeto base para estrutura. O dimensionamento dos elementos estruturais obedeceu a NBR 6118 (ABNT, 2024) e NBR 6122 (ABNT, 2022), garantindo eficiência, segurança e durabilidade a edificação, com suas dimensões mínimas. A estrutura ficou composta por: i) fundações em sapata com dimensões de 60 × 60 cm e espessura de 25 cm, profundidade de assentamento de 1,5 m, armadura de distribuição com barras de 10 mm nas direções X e Y, formando uma grelha bidirecional, com distanciamento de 15 cm entre as barras, interligadas por vigas de vigas de 12 × 30 cm com 4 barras de 8mm e estribos de 4,2 mm com espaçamento de 15 cm; ii) pilares com seção retangular de 14 × 26 cm, com 0,8% de aço da área do concreto (armadura longitudinal com 4 barras de 10 mm e estribos 4,2 mm a cada 15 cm); iii) vigas de 12 × 30 cm com 4 barras de 8mm e estribos de 4,2 mm a cada15 cm; e iv) laje do tipo treliçada com altura útil de 8 cm com armadura em tela soldável de Ø 4,2 mm e malha 15 × 15.

Modelou-se o projeto utilizando o Revit, um software BIM (*Building Information Modeling*), que permitiu extrair os quantitativos com maior precisão. Para a determinação da quantidade de insumos, utilizou-se como referência a composição da SEINFRA-CE Tabela 024. Para a quantidade de pessoas envolvidas na execução, considerou-se um prazo de quatro meses, compatível com os projetos da empresa consultada, que mantém um mestre na obra. A etapa de serviços preliminares não foi abordada, pois não foram encontrados valores de PH para essa etapa na literatura, e porque seus serviços são específicos e variam muito de projeto para projeto em função das condições do terreno.

A PH dos insumos foi calculada de acordo com a Equação 1 (Hoekstra *et al.*, 2011):

$$PH\ insumos = \sum Qtd\ Insumos\ \times CPH\ insumo \quad (1)$$

Em que:

- $Qtd\ Insumos$ é a quantidade de insumos;

- $CPH\ insumo$ é o coeficiente de Pegada Hídrica do insumo, levantado na literatura.

A PH da mão de obra foi calculada de acordo com a Equação 2 (Hoekstra *et al.*, 2011):

$$PH\ mão\ de\ obra = \sum duração\ da\ obra \times CPH\ trabalhador \times Qtd\ trabalhador \quad (2)$$

Em que:

- $Qtd\ trabalhador$ é a quantidade média de trabalhadores durante o período de construção;

- $CPH\ trabalhador$ o coeficiente de Pegada Hídrica do insumo, levantado na literatura.

A PH total foi calculada como a soma das PH da mão de obra e dos insumos. Algumas alternativas de mudança no projeto foram calculadas a fim de observar estratégias de baixo custo que poderiam diminuir a PH da edificação.

2.3 PREPARAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES

De posse dos resultados, foi feita uma análise comparativa, permitindo a identificação dos materiais com o maior consumo hídrico, assim como a sua etapa construtiva, por meio da Curva ABC. Também foram comparadas alternativas para redução da PH, assim como a síntese e conclusão da pesquisa foi elaborada.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente apresenta-se o resultado da PH total, depois sua análise por etapa e, por fim, a comparação de alternativas para redução do consumo de água.

3.1 PEGADA HÍDRICA TOTAL

A PH tptaç foi 398,23 m³ de água, o que representa 37,46 m³/m². APH dos materiais de 4,09 m³/m² e 33,37 m³/m² para mão de obra (80% da PH total). Conforme Sousa (2014), do total, 0,6% correspondem ao uso direto, enquanto 99,4% representam o uso indireto. Com base nisso, obtêm-se 200,24 litros para o uso direto e 33.173,55 litros para o uso indireto. A Tabela 1 sumariza esses valores.

Tabela 1: Pegada Hídrica total da edificação

Composição	PH Direta (m³)	PH Indireta (m³)	PH Total (m³)
Mão de Obra	19,42	3.217,83	3.237,26
Materiais	-	396,73	396,73
Consumo (m³/m²)	0,20	37,26	37,46

Fonte: dos autores.

A Tabela 2 apresenta a comparação da PH obtida com estudos anteriores.

Tabela 2: Comparação da PH com estudos anteriores.

Descrição	Almeida (2023)	Sousa (2014)	Silva e Gotardo (2013)	Crawford e Pullen (2011)	Heravi e Abdolvand (2019)	Rauf et al.(2024)	Este estudo
Local	Sem local	Fortaleza, Brasil	Cascavel, Brasil	Melbourne, Austrália	Teerã, Irã	Alaine, Emirados Árabes Unidos	Crateús, Brasil
Área (m²)	42,00	18501,61	2.241,00	291,3	109888,00	532,00	97,28

Tipologia	Casa popular em bloco de concreto, reboco de cimento, pintura e piso cimentado	Edifício residencial de 22 pavimentos em concreto armado, vedação em bloco cerâmico, reboco de gesso, pintura e revestimento e piso cerâmico	Edificação (não informadas pelos autores do trabalho)	Casa construída com paredes de tijolos, telhado de concreto, piso de carpete e cerâmica e revestimentos internos de gesso cartonado pintado	Edifício Residencial em estruturas de concreto armado	Vila de casas em estrutura de concreto armado com vedações em bloco de concreto, reboco de cimento, pintura e revestimento, com mármore e cerâmica	Casa em estrutura de concreto armado com alvenaria de bloco cerâmico, reboco de cimento, revestimento e piso cerâmico, e pintura
Materiais	2,76	58,02	4,52	31,3	16,91	20,33	4,09
Mão de Obra	-	35,95	-	-	3,89	-	33,37
Total	2,76	93,97	4,52	31,3	20,8	20,33	37,46

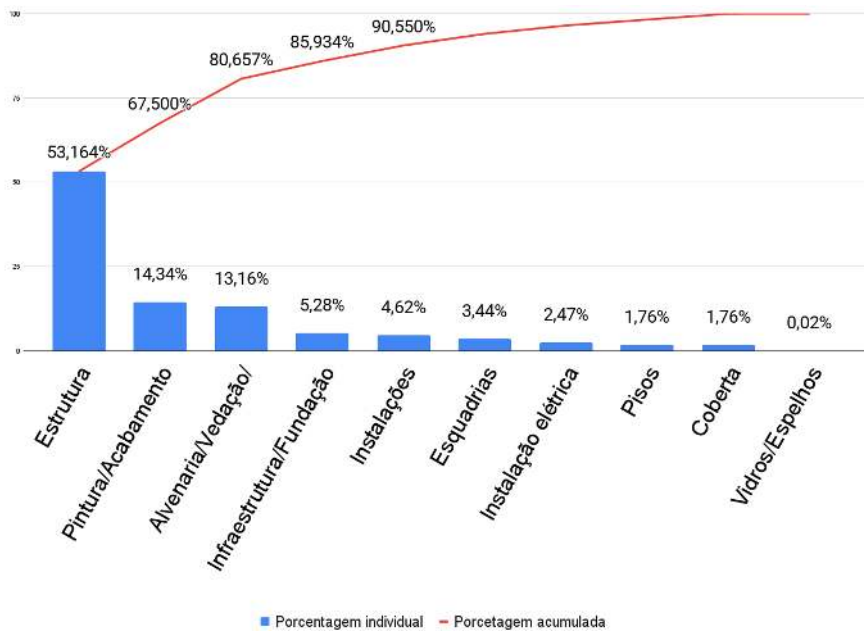
Fonte: dos autores.

Verificou-se que a PH dos materiais média para os estudos nacionais anteriores ao presente estudo foi de 21,77 m³/m² (Almeida; 2023, Sousa; 2014; Silva; Gotardo, 2013) contra 22,85 m³/m² dos estudos internacionais (Crawford; Pullen, 2011; Heravi; Abdolvand, 2019; Rauf et al., 2024), estando o presente trabalho com valor inferior de 4,09 m³/m². Quando comparado apenas a edificações de tipologia semelhante (Almeida, 2023; Silva; Gotard, 2013), o estudo possui a mesma ordem de grandeza, indicando sua validade. Já a variação geral pode estar relacionada as tipologias construtivas, no que prédios mais altos irão ter maior volume de concreto e, consequentemente, maior consumo de água. Outro ponto a se destacar é que apenas dois trabalhos anteriores calcularam a PH para a mão de obra e materiais em separado. Nesse caso, no presente estudo o valor foi maior para os materiais, divergindo da literatura, com valores de mão de obra maiores do que os materiais. Isso pode significar que o consumo de água para mão de obra em obras menores é proporcionalmente mais significativo e requer maior atenção nas medidas de gestão, alinhando-se a Waidyasekara, Silvae Rameezdeen (2016). Para esses autores, medidas “suaves” (soft), como mudanças no comportamento dos trabalhadores e nas políticas de gestão e planejamento para economia de água, são mais promissoras do que medidas “duras” (hard).

3.2 PEGADA HÍDRICA POR ETAPA DA OBRA

A influência de cada etapa no consumo hídrico é apresentada na Figura 2.

Figura 3: Curva ABC para as etapas da obra.



Fonte: dos autores.

Como esperado, a etapa estrutural foi a mais representativa, correspondendo a 53,16% da PH total da obra. Em seguida, a etapa de pintura/acabamento com 14,34% e a etapa de alvenaria/vedação com 13,16%. Essas

três etapas somam 80,66% da PH total da edificação, evidenciando sua significativa influência. Ao comparar a distribuição da PH entre as etapas da residência em estudo com o trabalho de Sousa (2014), Silva e Gotardo (2013), Almeida (2023), verifica-se conformidade aos padrões identificados. Assim, é fundamental buscar métodos e estratégias mais sustentáveis para reduzir a PH no setor.

3.3 ALTERNATIVAS COM MENOR CONSUMO

A seleção dos materiais e das técnicas construtivas desempenha um papel importante sobre a PH e a sustentabilidade das edificações, principalmente em áreas semiáridas. Desse modo, uma das estratégias para reduzir o consumo de água é a utilização de materiais que apresentem menor PH, o que favorece a manutenção dos recursos hídricos e a adaptação às condições climáticas da região.

Inicialmente, a análise foi iniciada pela etapa de vedação da construção. Na construção da edificação deste estudo, foi utilizado tijolo cerâmico, sendo um material comumente empregado em construções de pequeno e médio porte. Ao comparar esse material com outras opções disponíveis no mercado, como o bloco de concreto, foram identificadas diferenças na PH dos diferentes blocos de vedação analisados. Assim, com base em Silvestri (2017), verifica-se que a PH unitária do tijolo cerâmico maciço é de 75,05 L/m², resultando em um consumo total de 28.717,88 litros de água para a obra estudada. Em comparação, o bloco cerâmico perfurado apresenta uma PH inferior, totalizando 25.882,45 litros, enquanto o bloco de concreto possui consumo significativamente maior, totalizando 103.640,75 litros. Já o bloco de concreto apresenta um consumo maior comparado ao bloco cerâmico perfurado, caracterizando-o como uma opção menos viável do ponto de vista da sustentabilidade hídrica, principalmente para construções em áreas de escassez de água.

Com relação aos acabamentos internos, foram comparadas diferentes alternativas, avaliando a PH e os seus custos associados, conforme a Tabela 3.

Tabela 3: Comparação da Pegada Hídrica e custos em paredes com diferentes acabamentos

Tipo de Parede	Material Utilizado	PH Unitária (L/m²)	Custos associados
Rebocada e Pintada	Chapisco + Emboço + Reboco + Tinta Acrílica	765,50	R$ 89,99
	Chapisco + Emboço + Reboco + Textura	766,26	R$ 93,29
Com Revestimento Cerâmico	Chapisco + Emboço + Reboco + Cerâmica / Porcelanato + Argamassa colante + Rejunte	784,43	R$ 247,02
	Chapisco + Emboço + Reboco + Ladrilho + Argamassa colante + Rejunte	778,27	R$ 144,41

Fonte: dos autores, com dados de custos da SEINFRA-CE.

Verifica-se que as paredes rebocadas e pintadas apresentam menor consumo de água. Além disso, seu custo é inferior em comparação às demais alternativas analisadas, tornando-se uma escolha economicamente mais viável. Não foram obtidos dados específicos para a PH em paredes de revestimento em gesso. Porém, ao eliminar as camadas de chapisco e reboco, haverá, naturalmente, uma redução no consumo de água. Já a a Tabela 3 apresenta essa análise para a coberta.

Tabela 4: Comparação da Pegada Hídrica e custos em diferentes tipos de cobertura

Material		Quantidade		PH unit.		PH Total (L)	Custos associados		
							Código SEINFRA	Valor unit.	Valor Total
Telha cerâmica		3.704,00	un	0,91	L/um	3.370,37	C4462	R$ 75,26	R$ 6.773,40
Telha de aço		518.518	kg	0,7315	L/kg	379.295,92	C2431	R$ 133,86	R$ 12.047,40
Estrutura	Madeira	90	m²	11,4	L/m²	1026	C4460	R$ 113,12	R$ 10.180,80
	Aço	518.518	kg	67,3	L/kg	34.896,26	C1353	R$ 269,14	R$ 24.222,60

Fonte: dos autores, com dados de custos da SEINFRA-CE.

Pode-se verificar que a telha cerâmica se destaca como uma opção mais adequada, uma vez que possui menor PH frente a telha de aço e com menor custo.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse estudo analisou a Pegada Hídrica de uma construção típica da cidade de Crateús, CE com o objetivo de evidenciar o consumo de água para construir pequenas edificações. Além disso, comparou alternativas que poderiam reduzir o consumo hídrico.

Obteve-se uma PH total de 37,46 m³, evidenciando-se um significativo consumo de água para o contexto de regiões semiáridas como a da cidade do estudo. Verificou-se que grande parte dessa PH é indireta, ou seja, advinda da produção dos materiais e componentes de construção e não necessariamente do processo construtivo. Isso indica a necessidade e políticas públicas de incentivo à pesquisa e desenvolvimento de materiais alternativos, com menor consumo hídrico. Ainda, pode-se elaborar uma ferramenta de benchmarking para diferentes sistemas construtivos, auxiliando a tomada de decisão e promoção o uso racional de água junto as partes interessadas. Ao expandir as evidências sobre a PH, e ao comparar diferentes alternativas que poderiam ser empregadas para reduzir o consumo de água, o estudo reforça a necessidade de políticas e práticas que promovam o uso racional da água. Em regiões semiáridas, como a do estudo realizado, incentivos tributários poderiam ser empregados para aquelas edificações que demonstrassem preocupação em reduzir o consumo de água e, consequentemente, colaborasse com a segurança hídrica.

Apesar dessas contribuições, o estudo possui limitações. Salienta-se a dificuldade no levantamento de coeficientes de PH na literatura que impossibilitou mais comparações entre alternativas construtivas. Além disso, não foi possível coletar o consumo de água mensal durante a execução da obra para complementar as informações. Essas limitações podem ser implementadas em pesquisas futuras.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores expressam agradecimentos à Universidade Federal do Ceará, pela concessão de bolsa durante o período de desenvolvimento do trabalho.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

_____. **ABNT NBR 6122**: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ALMEIDA, M. E. F. A **Pegada Hídrica na construção civil:** análise com base em uma casa modelo Caixa Econômica Federal. 2023. Disponível em: https://cbic.org.br/premioinovacaoesustentabilidade/uploads/239-meu-tcc-cbic.pdf. Acesso em: 02 fev. 2025.

BARDHAN S. Assessment of Water Resource Consumption in Building Construction in India. In: Y. VILLACAMPA; BREBIA, C.A. **Ecosystems and Sustainable Development VIII**. Southampton: WIT Press, 2011, p. 93-103.

CRAWFORD, R. H.; PULLEN, S. Life cycle water analysis of a residential building and its occupants. **Building Research and Information**, v. 39, n. 6, p. 589–602, 2011.

CUREAU, R. J.; GHISI, E. Reduction of potable water consumption and sewage generation on a city scale: A case study in Brazil. **Water**, v. 11, n. 11, 2019.

DIXIT, M. K.; KUMAR, P. P.; HAGHIGHI, O. Embodied water analysis of higher education buildings using an input-output-based hybrid method. **Journal of Cleaner Production**, v. 365, p. 132866, 2022.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Déficit Habitacional e inadequação de moradias no Brasil:** principais resultados para o período de 2016 a 2019. Belo Horizonte: FJP, 2021.

GERBENS-LEENESA, P.W; HOEKSTRA, A.Y; BOSMAN, R. The blue and grey water footprint of construction materials: Steel, cement and glass. **Water Resources and Industry**, v. 19, p. 1–12, 2018.

HERAVI, G.; ABDOLVAND, M. M. Assessment of water consumption during production of material and construction phases of residential building projects. Sustainable Cities and Society, v. 51, n. July, p. 101785, 2019.

HOEKSTRA, A.Y. *et al*. **Manual de avaliação da Pegada Hídrica:** estabelecendo o padrão global. 2011. [Earthscan, 2011. Disponível em: https://www.waterfootprint.org/resources/TheWaterFootprintAssessmentManual_Portuguese.pdf>. Acesso em: 03. jan. 2025.

HOEKSTRA, A. Y.; HUNG, P. Q. Virtual water trade: a quantification of virtual waters flows between nations in relation to international crop trade. **Value of Water Research Report Series No.11**. Delft: IHE, 2002.

INSITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **População de Crateús**. 2022. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/crateus/panorama. Acesso em: 12 nov. 2024.

KEMPTON, J.; SYMS, P. Modern methods of construction: Implications for housing asset management in the RSL sector. Structural Survey, v. 27, n. 1, p. 36–45, 2009.

LOPES, T. M. X. M. *et al*. Cálculo da Pegada Hídrica dos serviços de concretagem de uma edificação de estrutura convencional. In: XV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 2020, Caruaru. **Anais.** Porto Alegre: ABRHidro, 2020. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/works/6912> . Acesso em: 25 nov. 2024.

MARINOSKI, A. K.; RUPP, R. F.; GHISI, E. Environmental benefit analysis of strategies for potable water savings in residential buildings. **Journal of Environmental Management**, v. 206, p. 28–39, 2018.

MOTTA, P. C. *et al*. Aproveitamento de águas pluviais em sistemas de refrigeração do centro cultural justiça federal do Rio de Janeiro. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 17, n. 8, p. 1–20, 2023.

NYKAMP, H. A transition to green buildings in Norway. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, v. 24, p. 83–93, 2017.

OLIVEIRA, C.H.M. **Caracterização geométrica de projetos residenciais:** um estudo de caso na cidade de Crateús-CE. 2019. 106 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Crateús, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/48403. Acesso em: 10 out. 2024.

RAUF, A. et al. Sustainable water management in construction: life-cycle embodied water assessment of residential buildings. **Built Environment Project and Asset Management**, v. 14, n. 5, p. 682–696, 2024.

SAADE, M. R. M. et al. Material eco-efficiency indicators for brazilian buildings. S**mart and Sustainable Built Environment**, v. 3, n. 1, p. 54–71, 2014.

SILVESTRI, E. *et al.* **Pegada Hídrica: Estudo de caso sobre telhas cerâmicas.** 2017. Disponível em: https://www.semanticscholar.org/paper/Pegada-H%C3%ADdrica%3A-Estudo-de-caso-sobre-telhas-Ribeiro-Silvestri/2f971e09b33626337acb2ad31bcd8ccb7e3a0a27. Acesso em: 25 jan. 2025.

SILVA, C.T.B.; GOTARDO, J. T. Pegada Hídrica na construção civil: análise do uso da água em uma edificação no município de Cascavel-PR. In: CONGRESSO TÉCNICO-CIENTÍFICO DE ENGENHARIA E DA AGRONOMIA, 2023., Gramado. **Anais...** Brasília: Confea/Crea, 2023.

SILVA, R. R.; VIOLIN, R. Y. T. Gestão da água em canteiros de obras de construção civil. In: Encontro Internacional de Produção Científica Cesumar, Maringá. **Anais...** Maringá: CESUMAR, 2013.

SOUZA, J. L. **Proposta metodológica de cálculo para a pegada hídrica na construção civil imobiliária**. 205 f. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia Civil: Recursos Hídricos)-Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

SOUZA, J. L. *et al*. Pegada hídrica de uma comunidade de consumidores em Fortaleza/CE/Brasil: análise das pegadas rápida e estendida na metodologia “Water Footprint Network”. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 45, n. 3, p. 17–32, 2014.

SOUZA FILHO, F. DE A. Cientista Chefe em Recursos Hídricos. In: PEQUENO, T. H. C.; SOARES, J. B. (Eds.). **Programa Cientista-chefe:** a experiência da inovação pública para o desenvolvimento do Estado do Ceará. Fortaleza: Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico, 2023. p. 29–40.

SPADOTTO, A.; GADDA, T. M. C.; NAGALLI, A. Design for disassembly as an instrument for the preservation of water resources in civil construction industry. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 56, n. 1, p. 353–363, 2022.

TESTON, A. *et al*. Rainwater Harvesting in Buildings in Brazil: A Literature Review. **Water**, v. 10, n. 4, p. 471, 2018.

WAIDYASEKARA, K. G. A. S.; SILVA, L.; RAMEEZDEEN, R. Water use efficiency and conservation during construction: drivers, barriers and practices. **Built Environment Project and Asset Management**, v. 6, n. 5, p. 553–566, 2016.

YANG, Y.; PAN, M.; PAN, W. ‘Co-evolution through interaction’ of innovative building technologies: The case of modular integrated construction and robotics. **Automation in Construction**, v. 107, n. July, p. 102932, 2019.