

XV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

CÁLCULO DA PEGADA HÍDRICA DOS SERVIÇOS DE CONCRETAGEM DE UMA EDIFICAÇÃO DE ESTRUTURA CONVENCIONAL

Tereza Margarida Xavier de Melo Lopes¹; Samiria Maria Oliveira da Silva²; Francisco de Assis de Souza Filho³, Herson Aquino Nery⁴

RESUMO – Os eventos recorrentes de seca no Ceará aliados à vulnerabilidade da população e das atividades produtivas a esses fenômenos, revelam a importância de desenvolver estudos relacionados ao uso racional da água. Com base nessa perspectiva, o presente artigo tem como objetivo principal mensurar a pegada hídrica (PH) dos serviços de concretagem de uma edificação e, por consequência, estimar os gastos correspondentes à água e esgoto a fim de demonstrar a possibilidade de desenvolvimento de uma atividade produtiva mais sustentável. Baseado na metodologia de Hoekstra et al. (2011), calculou-se o volume de água empregado para a produção e implantação do metro cúbico de concreto e evidenciou-se a aplicabilidade do método no setor da construção civil. Os resultados obtidos apontam a representatividade consuntiva de uma mera etapa da construção e evidenciam que a utilização de tal recurso, além de gerar impactos ambientais, interfere diretamente no orçamento do empreendimento. Por fim, este estudo de caso pode nortear outras pesquisas e contribuir para a elaboração de parâmetros da pegada hídrica.

ABSTRACT– The recurrent drought events in Ceará, combined with the vulnerability of the population and productive activities to these events, reveal the importance of developing studies related to the rational use of water. Based on this perspective, the main objective of this article is to measure the water footprint (PH) of the concreting services of a building and, consequently, to estimate the expenses related to water and sewage in order to demonstrate the possibility of developing an activity sustainable production. Based on the methodology of Hoekstra et al. (2011), the volume of water used for the production and implantation of the cubic meter of concrete was calculated and the applicability of the method in the civil construction sector was evidenced. The results obtained point to the representativeness of a mere stage of construction and show that the use of such a resource, besides generating environmental impacts, directly interferes with the project budget. Finally, this case study may guide other research and contribute to the elaboration of parameters of the water footprint.

Palavras-Chave – Pegada Hídrica; Construção Civil; Recursos Hídricos.

1. INTRODUÇÃO

1) Graduanda em Engenharia Civil (UFC), Av. Humberto Monte s/n – Campus do Pici, Fortaleza (CE) - Fone: (85) 987061421, e-mail: terezamelo@alu.ufc.br.

2) Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (UFC), Av. Humberto Monte s/n – Pici, Fortaleza (CE) - Fone: (85) 997666399, e-mail: samiriamaria@gmail.com.

3) Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (UFC), Av. Humberto Monte s/n – Pici, Fortaleza (CE) - Fone: (85) 99969493, e-mail: assis@ufc.br.

4) Engenheiro Civil (UNIFOR), Av. Dom Luís, 300 - Aldeota, Fortaleza (CE) - Fone: (85) 91715514, e-mail: hersonaquino@hotmail.com.

A construção civil é considerada um setor-chave para o desenvolvimento econômico brasileiro, visto que seu progresso gera impactos positivos para o crescimento dinâmico do Brasil. Para Teixeira e Carvalho (2006), a indústria fortalece a oferta de energia, transporte e telecomunicações, tais suportes são essenciais para o andamento das atividades primárias, secundárias e terciárias do país.

Embora esta esfera produtiva seja promotora de grandes avanços socioeconômicos, ela se destaca por causar danos ambientais. A degradação do meio ambiente acontece desde a fabricação e transporte dos insumos até a execução e a manutenção de uma construção, estas etapas geram reflexos de cunho ambiental, social e econômico (Spadotto *et al.* 2011). Apesar de tais impactos, é possível utilizar o setor como ferramenta fundamental para o atendimento dos requisitos globais de sustentabilidade, uma vez que esta é uma atividade que utiliza diversos recursos naturais e alicerça outras conjunturas industriais.

De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA, 2014), a construção civil consome, aproximadamente, 16% da água potável do Brasil, estas evidências somadas ao desequilíbrio entre a demanda e a oferta de água em qualidade e quantidade, enfatizam a importância de reduzir o consumo dos recursos hídricos em meio às cadeias produtivas da indústria da construção.

Diante da crise hídrica aliada ao ideal de desenvolvimento sustentável na construção civil, o recurso 'água' é observado sob duas vertentes: a utilização responsável da água em edifícios concluídos (Kalbush, 2011) e a análise comparativa em face ao uso da água nas etapas de construção, operação e manutenção de edificações (Crawford, 2011). Frente a tais perspectivas, é possível calcular o volume de água consumido perante aos processos construtivos com o objetivo de estabelecer parâmetros para reduzir a Pegada Hídrica (PH), a qual se enquadra como indicador quantitativo do consumo direto e indireto da água.

Dentre as etapas constituintes de uma obra, os itens estruturais e de revestimento se destacam tanto pela relevância no custo total da construção como pela quantidade de água empregada ao longo de suas cadeias produtivas. É sabido que o uso irracional de tal recurso prejudica os ideais de segurança hídrica e impacta diretamente no orçamento da produção de bens e serviços. Portanto, a presente pesquisa aborda como objeto de estudo a determinação da Pegada Hídrica e dos custos de água e esgoto dos serviços de concretagem pertencentes à construção de uma edificação.

2. BASE TEÓRICA

O conceito de “pegada hídrica” foi apresentado por Arjen Y. Hoekstra, em 2002. Desde então, é crescente o interesse por mensurar a quantidade de água empregada direta e indiretamente ao longo das cadeias produtivas (Hoekstra, 2003). Tal indicador pode ser utilizado para avaliar a influência do consumo humano em escalas globais ou em menores proporções, além de considerar a poluição de água doce proveniente da construção de produtos e da composição de serviços (Bleninger e Kotsuka, 2015).

Para que seja efetuado o cálculo da pegada hídrica integralmente, é preciso estimar o seu uso direto e indireto em meio ao objeto de estudo. Diante da perspectiva de Hoekstra, a pegada hídrica direta de uma empresa, por exemplo, concerne ao consumo e à poluição de água doce derivada dos processos efetuados por esta corporação, enquanto que a indireta está relacionada com a água incorporada dentro dos bens e serviços utilizados por tal entidade (Hoekstra *et al.*, 2011).

Além das designações supracitadas, a pegada hídrica é subdividida em azul, verde e cinza; a azul corresponde ao somatório do uso consuntivo de água doce superficial ou subterrânea. Em suma, a pegada hídrica azul é referente ao volume de água consumida, que não retorna instantaneamente para a sua bacia hidrográfica de origem (Hoekstra *et al.*, 2011).

A pegada hídrica verde tem o intuito de mensurar a quantidade de água da chuva que foi consumida (Ray *et al.*, 2018). De acordo com Hoekstra *et. al* (2011), é indispensável distinguir as pegadas hídricas verde e azul, pois as influências econômicas, sociais e ambientais do gerenciamento da água da chuva são bem diferentes quando considerados os mesmos impactos frente a água subterrânea e superficial.

A pegada hídrica cinza, por sua vez, avalia o volume de água doce necessário para diluir os poluentes até que os critérios de qualidade hídrica sejam atendidos perante as regulamentações locais (Vanham, 2018).

Por meio de tais princípios, é possível avaliar a pegada hídrica de determinada área geográfica ou de uma comunidade, bem como calcular a PH de um produto, produtor, consumidor ou até mesmo de um processo. No presente estudo, será analisada a PH de um produto, o qual refere-se ao quantitativo do volume de água pertencente ao somatório das pegadas hídricas dos processos necessários para a produção de um bem (Souza, 2014).

3. METODOLOGIA

A metodologia adotada foi baseada na proposta de Hoekstra *et al.* (2011), a qual está subdividida em quatro etapas: definição de objetivos e escopos (etapa 1), cálculo da pegada hídrica (etapa 2), análise de sustentabilidade da PH (etapa 3), e formulação da resposta aos resultados (etapa 4).



Figura 1 - Fases de execução da pegada hídrica

Fonte: Hoekstra *et al.* (2011)

No primeiro estágio são definidos os recursos, procedimentos, dados de entrada e outros elementos que possam favorecer o andamento da pesquisa para o alcance da pegada hídrica almejada (PINA, 2010). O segundo passo está associado à coleta de dados, sucedida pela elaboração de cálculos referentes à determinação da PH em questão. A terceira fase visa analisar a sustentabilidade da pegada hídrica considerando o cenário de estudo diante das perspectivas social, ambiental e econômica; no caso do estudo da PH de um processo, é analisado os impactos da pegada hídrica individual diante de uma conjuntura maior. Ulteriormente, há a etapa de formulação da resposta aos resultados, na qual são estudados métodos para reduzir a pegada hídrica.

3.1 Definição de objetivos e escopo

A presente pesquisa objetiva mensurar a pegada hídrica do concreto usinado e do concreto moldado in loco por meio de levantamentos realizados na construção de um edifício, portanto, diante da estratégia metodológica proposta por Hoekstra *et al.* (2011) supracitada, só será necessária a aplicação das duas primeiras etapas.

3.1.1 Local de aplicação

A sondagem foi realizada durante a construção do Anexo III da Assembleia Legislativa do Estado do Ceará, o qual está situado na Avenida Pontes Vieira, 2300 - São João do Tauapé (Fortaleza – CE). O prédio foi projetado para conter quatro andares e 7894,87 m² de área construída, além de 14892,63 m² destinados para estacionamento. A estrutura do projeto possui, aproximadamente, 2906 m³ de concreto.

3.1.2 Dados utilizados

Os dados referentes a PH do processo do concreto foram levantados durante o mês de fevereiro de 2019, perante aos serviços de concretagem executados com concreto usinado e moldado in loco. Na ocasião foram recolhidas informações referentes ao processo de cura, ao emprego de água no concreto, bem como o volume de água utilizado para a limpeza do caminhão betoneira e da betoneira presente no canteiro de obras.

3.2 Cálculo da pegada hídrica

O cálculo da pegada hídrica de um produto é realizado através da análise da quantidade de água empregada ao longo de sua cadeia produtiva. De acordo com Hoekstra *et al.* (2011), a PH de um produto pode ser estimada por meio de duas maneiras: a estratégia da soma das cadeias e o método sequencial cumulativo. A técnica adotada por este estudo foi baseada na abordagem da soma das cadeias. Para tanto, considera-se que a PH do produto em análise “P” corresponde ao somatório das pegadas hídricas significativas ao processo divididas pela quantidade produzida do produto “P”:

$$PHproc(p) = \frac{\sum_{c=i}^n PHproc(c)}{P(p)} \text{ (Volume/Massa)} \quad (1)$$

Em que P(p) é a quantidade produzida do produto “P” (massa/tempo) e PHproc(c) é pegada hídrica da etapa “c” do processo (volume/tempo).

Tendo em vista que o concreto é quantificado em obra por metros cúbicos, a unidade de medida da pegada hídrica, proposta por Hoekstra *et al.* (2011), foi adaptada para litros de água consumidos por metros cúbicos de concreto. Para estimar a pegada hídrica do concreto usinado, foram consideradas quatro individualidades consuntivas de água para a produção deste insumo: a limpeza parcial do caminhão betoneira (realizada na parte externa do caminhão ao final da evacuação do concreto em obra), a limpeza de despecho (efetuada no término do expediente da concreteira), a água empregada diretamente no concreto no ato de sua produção e o volume de água destinado à cura do concreto.

O volume de água empregado na limpeza parcial foi estimado a partir da verificação de quatro caminhões betoneira, cronometrando o tempo de limpeza e calculando a vazão da mangueira utilizada. Após a aplicação do concreto, os dados necessários para realizar a estimativa da quantidade de água destinada à cura do concreto foram obtidos através de métodos similares aos citados anteriormente. Os operários foram orientados a molhar as superfícies concretadas três vezes por dia durante uma semana.

Com o intuito de estimar a pegada hídrica do concreto produzido in loco, foram consideradas três particularidades consuntivas de água azul: a limpeza da betoneira situada na obra, a água empregada diretamente no concreto no ato de sua produção e o volume de água destinado à cura do concreto. A água utilizada para a limpeza da betoneira foi obtida pelos mesmos métodos adotados no cálculo da PH do concreto usinado e a PH da cura foi considerada a mesma.

Para a produção do concreto de 35 MPa moldado in loco, foi adotado pelo mestre de obras a proporção de um saco cimento, duas padiolas de brita, duas padiolas de areia e 34 litros de água por cada porção produzida. Com o intuito de descobrir o traço real utilizado, mediu-se o volume de cada recipiente utilizado e realizaram-se as devidas proporções.

Para estimar a pegada hídrica total dos serviços de concretagem da obra, considerou-se, à nível de aproximação, que o concreto usinado foi destinado inteiramente para os serviços de concretagem de vigas, lajes, cintas e blocos de fundação e que o concreto moldado in loco foi empregado para a execução dos pilares. O volume de cada elemento foi consultado nos quantitativos realizados pela empresa.

4. RESULTADOS

Diante das análises realizadas na obra, observou-se que a empresa não aproveita a água da chuva e também não utiliza nenhum meio para diluir a carga de poluentes provenientes da produção do concreto, portanto a água verde e cinza do presente estudo serão consideradas zero.

4.1 Pegada hídrica do concreto usinado x moldado in loco

Para o cálculo da PH da cura do concreto, o ato de molhar a estrutura foi denominado por ciclo de cura, no caso, adotou-se três ciclos diários em um período de sete dias, totalizando 21 ciclos (Tabela 1).

Tabela 1 - Volume de água destinado à cura do concreto

Volume de água destinado à cura do concreto	
Vazão da mangueira (l/s)	0,50
Tempo por ciclo de cura (s)	1380,00
Volume de água para laje por ciclo de cura (l)	690,00
Quantidade média de ciclos	21,00
Volume de água total (l)	14490,00

Quantidade de m ³ de concreto presente	154,00
Volume de água gasto por m ³ de concreto (l)	94,00

Fonte: Autoral

A limpeza parcial da betoneira foi obtida através do mesmo método empregado para o cálculo da PH de cura, totalizando 17,85 litros por m³ de concreto. As informações sobre quantidade de água empregada diretamente no concreto usinado e utilizada na limpeza de desfecho foram concedidas pelo engenheiro da concreteira. De posse de tais informações, foi possível obter a estimativa da pegada hídrica do concreto usinado (Tabela 2).

Tabela 2 – Pegada hídrica do concreto usinado

PH do concreto usinado	
	Consumo de água por m ³ de concreto (l/m ³)
Concreto do caminhão betoneira	200
Limpeza de desfecho	25
Limpeza parcial	17,85
Cura	94,09
Total	336,94

Fonte: Autoral

Para o cálculo da PH do concreto moldado in loco, foi analisado o traço real adotado pelo mestre de obras, para então calcular as devidas proporções necessárias à produção de 1m³ de concreto e obteve-se o resultado de 160,6 litros de água. Posteriormente, foi estimado o volume de água necessário para a limpeza da betoneira, o que resultou em, aproximadamente, 34 litros de água. Em relação à água destinada para a cura do concreto, foi considerado, à nível de aproximação a mesma PH do concreto usinado (Tabela 3).

Tabela 3 – Pegada hídrica parcial do concreto moldado in loco

PH do concreto moldado in loco	
	Consumo de água por m ³ de concreto (l/m ³)
Concreto	160,5667
Limpeza da betoneira	34
Cura	94,09
Total	288,66

Fonte: Autoral

Portanto, no presente estudo de caso, a diferença percentual entre a PH do concreto usinado e o moldado in loco é de, aproximadamente, 14%.

4.2 Pegada Hídrica Total

Por fim, foi estimada a pegada hídrica parcial dos serviços de concretagem realizados no empreendimento é de 954219 litros (Tabela 4)

Tabela 4 – Pegada hídrica parcial total da obra

Pegada Hídrica Total				
Tipos de Concreto	Elementos	Volume (M ³)	PH por m ³ (l)	PH 'total'
Concreto Usinado	Vigas e Lajes	2021,72	336,94	681200,17
	Cintas e Blocos de Fundação	367,64	336,94	123872,96
Concreto Moldado In Loco	Pilares	516,69	288,66	149146,50
PH estimada do processo				954219,63

Fonte: Autoral

Lima *et al.* (2016) estimou a pegada hídrica do concreto para a construção de unidades habitacionais com 88,45m² de área construída. O estudo indicou que cada residência consome 2730 litros de água perante aos serviços de concretagem, tal valor corresponde a 0,29% da PH estimada para a edificação em estudo. No que tange a água utilizada para uso humano, Fortaleza apresentou um consumo médio residencial per capita de 116,24 litros por dia, no período de 2009 a 2017; portanto, a água empregada apenas nos serviços de concretagem deste edifício assemelha-se ao que um fortalezense consumiria em 22 anos e meio.

4.4 Custo da água e esgoto nos serviços de concretagem

A taxa mensal de água e esgoto estimada pela licitante para a realização de todos os serviços da obra era de 330,15 reais, totalizando ao longo de doze meses, período previsto para o término da obra, o valor de 3961,80 reais. Ao recalculer a pegada hídrica do concreto mediante apenas ao consumo de água efetuado em obra aliada a análise da estrutura tarifária adotada pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece), obteve-se o custo total da água nos serviços de concretagem de, aproximadamente, 12428 reais, isto é, somente a concretagem excede em cerca de 68% a taxa total prevista para o consumo de água total da obra.

Tabela 5 – Estimativas de custos referentes à água e esgoto

Taxa mensal de água e esgoto estimada (R\$)	Cronograma previsto (mz)	Taxa total prevista (R\$)	Taxa de água e esgoto calculada p/ concretagem (R\$)
330,15	12	3961,8	12428

Fonte: Autoral

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desta pesquisa possibilitaram comparar a pegada hídrica do concreto usinado (337 l/m^3) e do concreto moldado in situ (289 l/m^3), bem como dimensionar a PH parcial dos serviços de concretagem realizados em toda a edificação, desconsiderando a água presente nos insumos. O indicador também viabilizou a análise financeira perante às taxas de água e esgoto, o que demonstrou que o uso de tal recurso impacta não só ao meio ambiente como também influencia diretamente no orçamento do empreendimento.

Desta forma, a metodologia adotada aliada aos resultados obtidos demonstra a aplicabilidade da pegada hídrica dentro das cadeias produtivas da construção civil, bem como valida a necessidade de analisar e implementar indicadores referentes ao consumo de água frente à produção de bens e serviços.

Diante disso, é fundamental que sejam desenvolvidas pesquisas cada vez mais detalhadas e abrangentes para que possam ser utilizadas como um referencial sustentável. Os dados coletados por meio desses estudos poderiam ser utilizados como parâmetros para entidades que almejam reduzir o consumo de água e basear avaliações quando não for possível realizar estimativas locais precisas, além disso, a ampliação de pesquisas relacionadas a PH tende a fortalecer as estratégias de segurança hídrica.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), visto que o artigo foi desenvolvido no âmbito da Chamada MCTIC/CNPq nº 18/2018, processo nº 420882/2018-9.

7. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Disponível em: <http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/cobrancaarrecadacao/Cobranca_TextoseEstudos.aspx#bi r>. Acesso em: 06 mar. 2019. ANA, 2014.

BLENINGER, T.; KOTSUKA, L. K. (2015). “Conceitos de água virtual e pegada hídrica: Estudo de caso da soja e óleo de soja no Brasil.” Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, v. 36, pp. 15-24.

CRAWFORD, R. H. (2011) “Life Cycle Water Analysis of an Australian Residential Building and its Occupants. Melbourne: Australian Life Cycle Assessment Society Inc.” In: Australian Conference on Life Cycle Assessment, v.7, pp.1-10.

- HOEKSTRA, A. Y., HUNG, P. Q. (2002). “Virtual water trade: a quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade.” Institute for Water Education. Holanda: UNESCO-IHE, p.66.
- HOEKSTRA, A. Y. (ed) (2003) “Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade.” UNESCO-IHE, Delft, Netherlands.
- HOEKSTRA, A.Y., CHAPAGAIN, A. K., ALDAYA, M. M., MEKONNEN, M. M. (2011). “The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard.” London: Earthscan, UK.
- KALBUSCH, A. (2011) “Método para avaliação do impacto ambiental da substituição de equipamentos convencionais por equipamentos economizadores de água a partir da avaliação do ciclo de vida.” Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.
- LIMA, R. A. P.; CANDIDO, L. L. T.; SILVA, E. L.; CANDIDO, R. A.; VIEIRA, A. S. (2016). “Cálculo da pegada hídrica total em uma empresa da construção civil localizada no semiárido nordestino.” XIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Aracaju.
- PINA, L.A.B. (2010) Pegada de água associada à produção do vinho verde branco. Dissertação de mestrado, Universidade de Aveiro, 92 f.
- RAY, C.; MCINNES, D.; SANDERSON, M. (2018) “Virtual water: its implications on agriculture and trade” Water International, v 43, pp 717-730.
- ROCKSTROM, J.; FALKENMARK, M.; KALBERG, L.; HOFF, H.; ROST, S.; GERTEN, D. (2009). “Future water availability for global food production: The potential of green water for increasing resilience to global change.” Water Resources Research, v 45, W00A12.
- SPADOTTO, A.; NORA, D. D.; TURELLA, E. C. L.; WERGENES, T. N.; BARBISAN, A. O.; (2011). “Impactos ambientais causados pela construção civil.” Unoesc & Ciência – ACSA, Joaçaba, v. 2, n. 2, pp. 173-180.
- SOUZA, J. L. (2014). “Proposta metodológica de cálculo para a pegada hídrica na construção civil imobiliária.” Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará.
- TEIXEIRA, L. P., CARVALHO, F. M. A. de. (2006) “A construção civil como instrumento do desenvolvimento da economia brasileira.” Revista Paranaense de Desenvolvimento, Curitiba, n. 109, pp. 9-26.
- VANHAM, D. (2018). “The water footprint of the EU: quantification, sustainability and relevance.” Water International, v.43:6, pp. 731-745.