

O INDICADOR AMBIENTAL PEGADA HÍDRICA COMO UMA FERRAMENTA PARA A GESTÃO AMBIENTAL

Barbara Ribeiro¹

Resumo: A presente pesquisa aborda a relevância do indicador ambiental denominado "Pegada Hídrica" como uma ferramenta estratégica na gestão ambiental contemporânea. Este estudo explora os fundamentos teóricos e metodológicos subjacentes à Pegada Hídrica, destacando sua aplicabilidade na avaliação e monitoramento do uso sustentável dos recursos hídricos. Por meio de uma revisão abrangente da literatura, são apresentados os principais conceitos relacionados à Pegada Hídrica, bem como suas potenciais contribuições para a gestão ambiental em diferentes contextos, incluindo o setor agrícola, industrial e de consumo. Ademais, são discutidos os desafios e limitações associados à implementação desse indicador, bem como as perspectivas futuras de sua utilização. Diante disso, este estudo propõe a adoção da Pegada Hídrica como uma ferramenta para promover a conscientização ambiental, orientar políticas públicas, práticas sustentáveis e fomentar a adoção de medidas de mitigação e adaptação.

Palavras-chave: Pegada Hídrica; Meio Ambiente; Recurso Natural; Sustentabilidade.

THE ENVIRONMENTAL INDICATOR WATER FOOTPRINT AS A TOOL FOR ENVIRONMENTAL MANAGEMENT

Abstract: This research addresses the relevance of the environmental indicator called "Water Footprint" as a strategic tool in contemporary environmental management. This study explores the theoretical and methodological foundations underlying the Water Footprint, highlighting its applicability in assessing and monitoring the sustainable use of water resources. Through a comprehensive review of the literature, the main concepts are presented related to the Water Footprint, as well as its potential contributions to environmental management in different contexts, including the agricultural, industrial and consumer sectors. In addition, the challenges and limitations associated with the implementation of this indicator are discussed, as well as the future perspectives of its use. In view of this, this study proposes the adoption of the Water Footprint as a tool to promote environmental awareness, guide public policies, sustainable practices and encourage the adoption of mitigation and adaptation measures.

Keywords: Water Footprint; Environment; Natural resource; Sustainability.

¹ Mestranda em Geografia pela Unesp de Rio Claro (SP). Email: barbara.ribeiro@unesp.br

INTRODUÇÃO

A água é o recurso mais abundante do planeta, ocupando sua superfície em cerca de 70% e sendo essencial para a manutenção da vida e seus ecossistemas. À vista disso, com o crescimento populacional e econômico, a quantidade e a qualidade da água doce disponível apresenta ressalvas de acordo com a degradação intensa e conseqüentemente mudanças no ciclo natural da água. (Irigaray, Gorczewski, 2019). Com isso, é possível observar que as ações antrópicas contribuem para a acentuação deste crescente cenário delicado determinado pelo sistema capitalista globalizado que conduzem uma produção intensiva do consumo dos recursos hídricos associado ao desenvolvimento econômico. (Barros e Amim, 2007).

Sem dúvida, a problemática da escassez de água tem suas raízes profundas no crescimento demográfico global. De fato, a transição do século 20 para o século 21 é caracterizada por um aumento populacional sem precedentes: em 1999, a população mundial era de aproximadamente 6 bilhões de indivíduos, e as projeções indicam que esse número poderá atingir entre 7,9 a 9,1 bilhões até 2025. Esse crescimento exponencial da população contribui significativamente para a pressão sobre os recursos hídricos. A situação de escassez é particularmente agravada em bacias hidrográficas altamente urbanizadas, não apenas devido ao rápido crescimento da demanda por água, mas também devido à contaminação resultante do descarte de águas residuais (Hinrichsen *et al.*, 2005).

A Organização das Nações Unidas (ONU), por meio de uma assembleia geral em 2010, reconheceu a resolução nº 64/292 que expressa a água como um direito humano, onde todos os indivíduos possuem o direito básico de acesso, essencial e fundamental. Portanto, nessa perspectiva, o governo é incumbido de garantir que a água seja acessível, limpa e segura para consumo (Hespanhol, 2006).

(Art. 2º- A água é a seiva do nosso planeta. Ela é a condição essencial de vida de todo ser vegetal, animal ou humano. Sem ela não poderíamos conceber como é a atmosfera, o clima, a vegetação, a cultura ou a agricultura. O direito à água é um dos direitos fundamentais do ser humano: o direito à vida, tal qual é estipulado no Art.3º da Declaração dos Direitos do Homem. Declaração Universal dos Direitos da Água - ONU, 1992).

De natureza similar ao exposto acima, a água é concebida como um serviço público. Ou seja, governos ou entidades privadas responsáveis pelo fornecimento de infraestruturas que possibilitem o acesso adequado à água potável. Sendo estas, redes de distribuição de água, tratamento de água e serviços de saneamento básico. (De Carvalho, 2012)

Entretanto, outra visão mediante este recurso vital é a água como um “bem”, isto é, considerado um recurso natural passível de ser gerenciado. Neste contexto, a água é vista como um recurso econômico suscetível às leis de oferta e demanda, possibilitando a compra, comercialização e venda.

Dessa forma, é possível observar que a lógica do mercado, geralmente, favorece o ganho de lucros ao invés do acesso a água de forma equitativa. Conseqüentemente, empresas que operam neste setor e que gerenciam essas estratégias contribuem para a crescente exploração dos recursos hídricos que afetam diretamente a

qualidade e a disponibilidade da água doce, principalmente para as comunidades de baixa renda (Amim *et al.*, 2022).

Deste modo, Fracalanza e Freire (2015) elencam que a desigualdade no acesso à água pode ser considerada uma situação de injustiça ambiental, pois quando ocorre a exclusão socioeconômica de certas parcelas populacionais, conseqüentemente, estas sofrem com problemas ambientais advindos da qualidade e quantidade da água disponível.

No Brasil, a disponibilidade hídrica é substancial, totalizando cerca de 91.300 m³/s, com uma vazão média aproximada de 180.000 m³/s. No entanto, a distribuição dessas águas superficiais é altamente heterogênea. Por exemplo, nas bacias localizadas junto ao Oceano Atlântico, que concentram mais de 46% da população total do país, apenas 2,7% dos recursos hídricos estão disponíveis. Por outro lado, na região Norte, que abriga cerca de 5,3% da população brasileira, detém aproximadamente 81% dos recursos hídricos superficiais e uma reserva significativa de água subterrânea, estimada em cerca de 11.430 m³/s (ANA, 2015).

De acordo com uma pesquisa conduzida pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2017b), a principal demanda por água em termos de volume é observada na atividade agrícola, especialmente na irrigação, representando aproximadamente 67,1% do consumo total, em consonância com a média global de uso. O abastecimento de animais responde por cerca de 11,1% do consumo hídrico, enquanto a indústria e o fornecimento urbano de água correspondem a 9,5% e 8,8%, respectivamente.

Consoante o panorama descrito acima, preservar os recursos naturais desempenha um papel crucial na sustentação da base produtiva de alimentos e na manutenção dos processos ecológicos vitais que garantem a vida. Esta conservação é essencial para mitigar os efeitos que contribuem para o esgotamento progressivo desses recursos.

Por conseguinte, a pegada hídrica é uma medida abrangente que avalia tanto o uso direto quanto indireto de água ao longo do ciclo de vida de um produto, serviço ou atividade. Isso inclui não apenas a água consumida diretamente, mas também aquela utilizada na produção de matérias-primas, fabricação, transporte e descarte, além de considerar a quantidade de água necessária para diluir e transportar os poluentes gerados por essa atividade. Em suma, a pegada hídrica fornece uma avaliação do impacto da atividade humana sobre os recursos hídricos, oferecendo ferramentas para a gestão sustentável da água (Hoekstra, 2003; Mekonnen e Hoekstra, 2011).

O INDICADOR AMBIENTAL PEGADA HÍDRICA (PH)

A pegada hídrica é uma ferramenta que mensura a quantidade de água doce utilizada nos diferentes setores de produção de bens e serviços e é expressa em termos de volume de água, comumente em litros ou metros cúbicos. Portanto, fornece informações importantes para identificar áreas onde é necessária a redução do uso da água por causa dos impactos gerados. O termo, “pegada hídrica” foi criado pelo professor Arjen Y. Hoekstra, em 2002, em contribuição aos estudos referentes à Educação em Recursos Hídricos (*Institute for Water Education*) (Lacerda, 2015).

A fundamentação teórica tradicional e a metodologia utilizada por Hoekstra *et al.* (2011) consiste na classificação do uso da água, desde a sua fonte até uma possível geração de impactos. A pegada hídrica é classificada em: água azul (refere-

se às águas superficiais e subterrâneas), água verde (representa a água proveniente da chuva, mantida no solo e utilizada pela vegetação) e água cinza (quantidade de água necessária para a diluição de uma carga de poluentes).

A pegada hídrica azul é um indicador que mede o volume de água doce consumido por uma atividade humana, como a produção de alimentos, energia ou bens. O cálculo da pegada hídrica azul leva em conta a água retirada de fontes superficiais ou subterrâneas, como rios, lagos ou aquíferos, e que não retorna ao mesmo local ou à mesma bacia hidrográfica. Por exemplo, a pegada hídrica azul de um quilo de carne bovina é de cerca de 15 mil litros (Maracajá *et al.*, 2012).

Além disso, a pegada hídrica azul pode mostrar como a água é distribuída entre diferentes regiões e setores e como ela pode ser afetada pelas mudanças climáticas e pela escassez hídrica. Para calcular a pegada hídrica azul, é preciso conhecer o volume de água consumido em cada etapa da cadeia produtiva, desde a extração da matéria-prima até o descarte final do produto. A fórmula para a realização do cálculo consiste no volume de água superficial e subterrânea consumido ou poluído por unidade de tempo. O volume de água consumido é a diferença entre o volume de água retirado e o volume de água devolvido ao sistema hídrico. O volume de água poluída é a soma dos volumes de água que não podem ser reutilizados devido à sua baixa qualidade (Hoekstra *et al.*, 2011).

A pegada hídrica verde é um indicador que mede o volume de água doce proveniente da precipitação que é consumida ou evapotranspirada pela vegetação e também incorporada aos produtos vegetais, como alimentos, fibras ou madeira. A pegada hídrica verde é utilizada para avaliar o impacto ambiental da produção agrícola, florestal e pecuária, bem como para estimar a demanda de água dos diferentes setores econômicos. Por exemplo, a pegada hídrica mundial do setor agrícola é de 6.390×10^9 m³/ano, a doméstica equivale a 344×10^9 m³/ano e a do setor industrial é 716×10^9 m³/ano (Nascimento, *et al.*, 2021).

Essa componente, pode ser reduzida por meio de práticas de manejo sustentável do solo e da vegetação, como o uso de espécies nativas, a rotação de culturas, a conservação da cobertura vegetal e a recuperação de áreas degradadas. Essas práticas podem aumentar a eficiência do uso da água pelas plantas, reduzir as perdas por escoamento superficial e infiltração profunda e melhorar a qualidade da água. Portanto, a pegada hídrica verde é calculada através da fórmula: Pegada hídrica verde = Evapotranspiração da cultura x Área cultivada x Coeficiente de cultivo. A Evapotranspiração da cultura é a quantidade de água que a planta transpira e evapora do solo durante o seu ciclo de crescimento. Área cultivada é a superfície de terra usada para produzir um determinado produto agrícola e o Coeficiente de cultivo é a razão entre a evapotranspiração da cultura e a evapotranspiração de referência, que é a evapotranspiração potencial de uma superfície coberta por vegetação bem irrigada (Hoekstra *et al.*, 2011).

A pegada hídrica cinza é um indicador que mede a quantidade de água doce que é poluída pela produção de um bem ou serviço. Ela é calculada pela razão entre a carga de poluentes gerada e a concentração máxima permitida desses poluentes na água. Logo, para seu cálculo, a fórmula utilizada é: $P = Q * C * 1/A$. Onde P é a pegada hídrica cinza (m³/ano), Q é o volume de água poluída (m³/ano), C é a concentração média do poluente na água (mg/l) e A é o padrão de qualidade da água para o poluente considerado (mg/l) (Hoekstra *et al.*, 2011).

A pegada hídrica cinza pode ser utilizada para avaliar o impacto ambiental de diferentes atividades econômicas, como a agricultura, a indústria e o consumo doméstico. Ela também pode ser usada para comparar a eficiência e a

sustentabilidade de diferentes produtos ou processos, considerando o seu uso da água e a sua geração de resíduos. Um exemplo de pegada hídrica cinza é o da produção de café. Para preparar uma xícara de café, são necessários 130 litros de água. No entanto, o cultivo do café também gera poluição por meio do uso de fertilizantes e pesticidas, que afetam a qualidade da água. Assim, para cada xícara de café, são necessários mais 18 litros de água para diluir esses poluentes até um nível aceitável. Esse volume adicional é a pegada hídrica cinza do café (Maracajá *et al.*, 2012).

Além disso, ela pode contribuir para o planejamento e a gestão dos recursos hídricos, considerando não apenas a quantidade, mas também a qualidade da água disponível. Logo, a diferença entre as componentes da pegada hídrica está na origem e no destino da água utilizada na produção.

Apoiado nisso, a metodologia propõe a possibilidade de quantificar o uso da água em diferentes níveis de agregação, desde um produto específico até uma região ou um país, e de identificar os impactos potenciais do uso da água sobre os recursos hídricos locais e globais. Por conseguinte, permite uma melhor gestão da água, tanto do ponto de vista dos consumidores quanto dos produtores. A metodologia consiste, basicamente, em três etapas principais: (1) definir o escopo do estudo, (2) calcular a Pegada Hídrica direta e indireta do objeto de análise, e (3) avaliar a sustentabilidade da Pegada Hídrica em relação à disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos. O escopo do estudo pode variar de acordo com o objetivo, a escala e o nível de detalhamento necessários.

A pegada hídrica direta se refere ao uso de água que é diretamente consumida ou utilizada em uma atividade específica, como o abastecimento doméstico, a irrigação agrícola ou os processos industriais (Hoekstra, 2003). Por outro lado, a pegada hídrica indireta considera a quantidade de água necessária ao longo de toda a cadeia de produção de um produto ou serviço, incluindo o uso de água na produção de insumos, fabricação, transporte e descarte (Mekonnen e Hoekstra, 2011).

A avaliação da sustentabilidade da Pegada Hídrica envolve a comparação entre a demanda e a oferta de água em uma determinada região, considerando os aspectos ambientais, sociais e econômicos (Hoekstra *et al.*, 2011).

Em síntese, para avaliar a pegada hídrica de um produto, uma atividade, uma região ou um país, existem diferentes metodologias que seguem os princípios do ciclo de vida e da contabilidade da água. As principais metodologias são: a norma ISO 14046, o *Water Footprint Network* (WFN) e o *Water Footprint Assessment Tool* (WFAT).

Em relação a diferença entre elas, está baseada na forma como essas metodologias calculam e apresentam os resultados da pegada hídrica. A norma ISO 14046 é voltada para a avaliação da pegada hídrica de produtos individuais, seguindo uma abordagem padronizada e comparável. Com isso, ela permite identificar os impactos potenciais da pegada hídrica sobre a disponibilidade e a qualidade da água em diferentes locais e períodos (ISO, 2014).

O WFN é mais abrangente e flexível, podendo avaliar a pegada hídrica de produtos, atividades, regiões e países. Ele utiliza uma metodologia baseada em quatro fases: definição do objetivo e do escopo, contabilização da pegada hídrica, sustentabilidade da pegada hídrica e resposta à pegada hídrica. Logo, permite analisar a eficiência do uso da água, os riscos relacionados e as oportunidades de redução da pegada hídrica (Hoekstra *et al.*, 2011). Por exemplo, o WFN pode ser usado para avaliar a pegada hídrica do Brasil, a disponibilidade e a poluição da água

em cada bacia hidrográfica e os impactos ambientais, sociais e econômicos da pegada hídrica.

O WFAT é uma ferramenta online que facilita o cálculo e a visualização da pegada hídrica de diferentes entidades, utilizando os dados e as fórmulas do WFN. Ele permite comparar a pegada hídrica de diferentes produtos, setores, regiões e países, bem como verificar a pegada hídrica média per capita de cada país (WFAT, 2020). Por exemplo, o WFAT pode ser usado para comparar a pegada hídrica de um copo de café com a de um copo de chá, mostrando as diferenças entre as pegadas hídricas verde, azul e cinza de cada bebida.

A concepção da pegada hídrica é fundamentada no conceito de importação de água introduzida por Allan (1998). Portanto, o conceito é decorrente dos estudos elaborados pelo autor que visava a viabilidade desse conceito. Com isso, a “água virtual”. Logo, apresentava uma possibilidade de solucionar, de forma breve, a situação de escassez de água do Oriente Médio. Consequentemente, a partir deste conceito de diversos estudos foram elaborados por diferentes autores (Hoekstra e Huang, 2002; Hoekstra, 2003; Oki e Kanae, 2004; Ercin *et al.*, 2011).

Por conseguinte, a definição de “água virtual” de um determinado produto equivale ao volume de água doce utilizado para a produção de uma mercadoria. (Hoekstra e Chapagain, 2007). Contudo, esta definição se baseia na quantidade de água doce utilizada ao longo da cadeia de produção de um referido produto. Portanto, a maior parcela de água utilizada não está contida na mercadoria, mas sim em sua cadeia de produção.

De acordo com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) o Brasil apresenta uma grande disponibilidade de água doce, em torno de 12% em relação ao total disponível no mundo. No entanto, mesmo com essa disponibilidade relativa, o país enfrenta desafios duradouros mediante à gestão sustentável dos recursos hídricos. Por exemplo, o setor agrícola que, apesar da relevância econômica, se apresenta como um dos maiores consumidores deste recurso. Em vista disso, com o uso da pegada hídrica, é possível identificar quais cultivos demandam mais o consumo de água e implementar práticas agrícolas mais eficientes e sustentáveis. (Ferraz, *et al.*, 2020).

Além do setor agrícola, outros setores, como industrial e de serviços, podem ser avaliados através da pegada hídrica. Na indústria de processos, por exemplo, é possível identificar as atividades que consomem grandes volumes de água e, com isso, criar práticas de reuso e reciclagem. (Cavalcante, *et al.*, 2013) No setor de serviços, ao mensurar o consumo de água em atividades do setor terciário, como por exemplo, o turismo, é possível criar estratégias sustentáveis (Costa, 2014).

Assim sendo, a pegada hídrica permite identificar os setores que mais consomem e poluem a água, os países ou regiões que mais sofrem com a escassez ou a degradação da água e as possíveis soluções para reduzir a demanda e melhorar a qualidade da água. A pegada hídrica também pode ser usada para comparar produtos ou serviços em termos de sua eficiência hídrica e para estimular a conscientização e a responsabilidade dos consumidores sobre o uso da água. (Silva *et al.*, 2013).

ESTUDOS DE CASO DA PEGADA HÍDRICA EM MUNICÍPIOS

Uma revisão bibliográfica é um exemplo de texto acadêmico que analisa e sintetiza as principais ideias, métodos, resultados e contribuições de um artigo científico. Logo, neste caso, os autores Paterson *et al.* (2015) revisaram o conceito

de pegada hídrica das cidades, que mede o volume de água consumido e poluído direta e indiretamente pela atividade urbana, e propor direções para pesquisas futuras sobre o tema. Os autores fazem uma revisão sistemática da literatura sobre pegada hídrica urbana, identificando os principais métodos, que são: (1) Avaliação da Pegada Hídrica (WFA), voltada ao nível do produto/commodity, aplicado para qualquer escala referente ao uso consuntivo dos recursos de água doce, (2) Environmentally-extended input-output (EEIO) que abrange as tabelas econômicas, ou seja, utiliza dados setoriais para avaliar as interdependências entre os setores para a compreensão dos fluxos monetários ao longo de uma cadeia de abastecimento e (3) avaliação do ciclo de vida (ACV) que analisa ao longo da cadeia de produção de um determinado produto e o seu provável impacto ambiental. Além dos escopos e escalas utilizados pelos estudos existentes.

Desta forma, eles também discutem os desafios e as limitações desses estudos, como a falta de dados padronizados, a variabilidade espacial e temporal da pegada hídrica, a dificuldade de atribuir responsabilidades entre os diferentes agentes envolvidos no consumo e na gestão da água, e a necessidade de integrar a pegada hídrica com outras dimensões da sustentabilidade urbana. Por fim, eles sugerem algumas áreas para pesquisas futuras, como o desenvolvimento de metodologias mais robustas e consistentes para medir e comparar a pegada hídrica das cidades, a avaliação dos impactos ambientais, sociais e econômicos da pegada hídrica urbana, a elaboração de estratégias e políticas para reduzir e otimizar a pegada hídrica das cidades, e a promoção de uma maior conscientização e participação dos cidadãos e das instituições na gestão sustentável da água.

Para realizar essa revisão, a matriz de análise utilizada pelos autores, consiste em um conjunto de variáveis que permitem comparar os artigos revisados em termos de: objetivo, escopo, método, dados, resultados e implicações. Os autores usaram essa matriz para sintetizar as principais características e contribuições de cada artigo, bem como para identificar as semelhanças e diferenças entre as abordagens adotadas. Além disso, eles também compararam a pegada hídrica com outros indicadores de uso e gestão da água nas cidades, como o consumo per capita, a eficiência hídrica, a escassez hídrica e a segurança hídrica.

Eles discutiram as vantagens e desvantagens de cada indicador, destacando a importância de considerar a pegada hídrica como uma ferramenta complementar para avaliar o impacto das atividades urbanas sobre os recursos hídricos locais e globais. Eles também identificam as lacunas e desafios para o avanço desse campo de pesquisa, propondo algumas direções e recomendações para futuros estudos. O artigo contribui para o debate sobre a gestão sustentável dos recursos hídricos nas áreas urbanas, fornecendo uma visão crítica e integrada da pegada hídrica das cidades.

Além disso, as cidades têm uma maior proporção de água verde do que de água azul em suas pegadas hídricas, o que indica que a produção agrícola é a principal fonte de consumo indireto de água. Esses resultados mostram a complexidade e a diversidade dos fluxos de água associados às cidades e a necessidade de considerá-los na tomada de decisão sobre a gestão sustentável da água.

Tabela 1. Vantagens e desvantagens das metodologias: Avaliação da Pegada Hídrica (WFA) - *Water Footprints (WFs)*, *Environmentally Extended Input-Output (EEIO)* e Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) - *Life Cycle Assessment (LCA)*.

Metodologias	Vantagens	Desvantagens
Avaliação da Pegada Hídrica (WFA) - <i>Water Footprints (WFs)</i> - Nível de produto.	<ul style="list-style-type: none"> - Informa uma análise específica referente a produtos agrícolas que possibilita a elaboração de pressupostos descritivos sobre alimentos cultivados em regiões definidas; - Ferramenta de comunicação simplificada; - Oferece uma classificação parcial da cadeia de abastecimento; - Utiliza uma abordagem sistêmica para analisar a sustentabilidade. Classifica a água azul, verde e cinza. 	<ul style="list-style-type: none"> - Adota, majoritariamente, as médias em nível nacional ou estadual/provincial que não especificam os padrões de consumo de forma exclusiva de uma cidade.
<i>Environmentally Extended Input-Output (EEIO)</i> - Nível de setor.	<ul style="list-style-type: none"> - Análise completa da cadeia de suprimento; - Possibilita a identificação de setores que apresentam circunstâncias críticas como principais consumidores de água; - Analisa a interdependência hídrica e a eficácia e a eficiência dos setores; - Permite a identificação do "multiplicador de água" que designa o grau de reciclagem virtual de água entre determinados setores dentro de uma cidade; - Proporciona a comparação entre as alterações ao longo do tempo usando tabelas IO. 	<ul style="list-style-type: none"> - Emprega, principalmente, as médias em nível nacional ou estadual/provincial que não apresentam padrões de consumo exclusivos de uma cidade.
Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) - <i>Life Cycle Assessment (LCA)</i> - Nível de produto.	<ul style="list-style-type: none"> - Avaliação completa de cadeia de suprimento; - Avaliação completa dos impactos humanos e ambientais; - Pressupõe os custos de oportunidade do uso do recurso hídrico; - Colabora com as empresas mediante a avaliação do consumo e dos impactos da água na cadeia de abastecimento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Voltado para produtos individuais; - Dificuldade em contabilizar todos os produtos dentro de uma cidade; - Utilização de bancos de dados que podem ser limitados de acordo com os detalhes regionais ou de produtos disponíveis; - A etapa de inventário abrange a água azul.

Fonte: Paterson *et al.* (2015)

Os autores Manzardo *et al.* (2016) consideram que a maior parte da população mundial atualmente reside em cidades, essa questão tem relevância particular em um ambiente urbano, no caso, o município de Vicenza, na Itália. Em suma, consideram os diferentes usos, sendo esses: doméstico (utilização do recurso para fins higiênicos, limpeza e consumo direto), comercial e industrial. Para isso, apresentam uma proposta metodológica para avaliar a contabilidade da pegada hídrica do uso direto da água em nível urbano. O método utilizado é baseado no procedimento desenvolvido por Hoekstra *et al.* (2011), que consiste em quatro etapas: definição do escopo e dos limites do sistema, coleta e análise de dados, cálculo da pegada hídrica e interpretação dos resultados obtidos. utilizam o conceito de pegada hídrica, que mede o volume de água doce utilizada para produzir bens e serviços, e o dividem em três componentes: azul (água superficial ou subterrânea), verde (água da chuva armazenada no solo ou na vegetação) e cinza (água poluída).

Para a coleta e análise de dados, os autores utilizam fontes secundárias, como relatórios oficiais e estatísticas municipais. Eles também estimam alguns parâmetros com base em estudos anteriores ou em valores médios. Também consideram os fatores de escassez e poluição da água para avaliar os impactos locais da pegada hídrica. Para a interpretação dos resultados, eles utilizam indicadores como a pegada hídrica per capita. Os resultados do estudo de caso em Vicenza mostram que a pegada hídrica obtida com o modelo proposto para a cidade foi de 551.000 ml. Logo, isso significa que cada habitante da cidade de Vicenza consome, em média, 551 mililitros de água por dia. Este valor inclui o uso direto de água em espaços públicos, atividades comerciais e consumo doméstico. Além disso, o estudo demonstrou que a pegada hídrica pode variar significativamente entre diferentes áreas urbanas. Por exemplo, as pegadas hídricas obtidas para três áreas urbanas da Europa Central com características diferentes foram de 291.000 ml em Wroclaw, Polônia, 551.000 ml em Vicenza, Itália e 714.000 ml em Innsbruck, Áustria.

O artigo destaca a importância de considerar o uso direto da água em nível urbano para uma gestão mais eficiente e sustentável dos recursos hídricos, especialmente em áreas com escassez ou estresse hídrico. O método proposto pode ser usado como uma ferramenta de apoio à decisão para identificar as fontes e os setores mais relevantes da pegada hídrica urbana e para implementar medidas de redução e mitigação dos impactos ambientais associados ao uso da água.

Os autores, Vieira e Junior (2015) abordam os aspectos de consumo direto e indireto de água, bem como os impactos ambientais e sociais atrelados. O objetivo do trabalho é utilizar uma metodologia para avaliar a sustentabilidade hídrica do município de Caraguatatuba-SP, baseada em indicadores de eficiência, equidade e responsabilidade. Para isso, utilizam dados secundários de fontes oficiais, tais como o IBGE, a ANA, a SABESP e a CETESB. E, também aplicam o conceito de pegada hídrica elaborado por Hoekstra e Chapagain (2008) que é dividida em três componentes: a água verde, que corresponde à água da chuva armazenada no solo e utilizada pela vegetação; a água azul, que corresponde à água dos rios, lagos e aquíferos utilizada para fins domésticos, industriais e agrícolas; e a água cinza, que corresponde à água necessária para diluir os poluentes gerados pelas atividades humanas até os padrões de qualidade estabelecidos pela legislação.

Os dados secundários foram obtidos de fontes oficiais que disponibilizam informações sobre o consumo de água por setor, a produção agrícola, entre outros. Os autores selecionaram os dados referentes ao município de Caraguatatuba. E, também utilizaram coeficientes de consumo de água por produto ou atividade, obtidos através da literatura científica.

Os autores consideraram as seguintes pegadas hídricas: sistema de água urbana, produção de esgoto, pecuária e a água utilizada no meio rural. Logo, os resultados mostram que a Pegada Hídrica encontrada foi de 0,4 ml/ano, com uma contribuição de 85% da água cinza. Este resultado indica que a maior pressão sobre a água advém da defasagem do sistema de esgoto em relação às demandas de uma população crescente.

Além disso, os autores analisam os impactos da pegada hídrica na disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos, bem como nas condições socioeconômicas da população. À vista disso, o estudo se destaca por abordar uma temática relevante e atual, que é a gestão dos recursos hídricos em um contexto de escassez e conflito. Também contribui para o avanço do conhecimento científico sobre a pegada hídrica, ao aplicar o conceito em uma escala municipal e considerar as especificidades locais. O artigo ainda apresenta implicações práticas para a formulação e implementação de políticas públicas voltadas para a sustentabilidade hídrica dos municípios.

Por fim, os autores Yerlin e Sahin (2021) promoveram um estudo sobre a pegada hídrica urbana e a escassez de água azul na província de Van, na Turquia. O estudo abrange a crescente pressão sobre os recursos hídricos devido ao aquecimento global, urbanização, industrialização e o aumento da população. Os autores utilizam a metodologia do Water Footprint (WFs) - Avaliação da pegada hídrica (WFA) (Hoekstra, et al., 2011), sendo uma métrica que leva em consideração o consumo direto e indireto de água. No contexto deste estudo, a WFs da província de Van, que é a região mais oriental e árida da Turquia.

O estudo adota o lago Van, o maior lago da Turquia e a bacia do Van com uma área de 23.334 km² e uma população de 1.136.757 (em 2019). Na análise, as pegadas hídricas de culturas, pecuária, doméstica e industrial foram avaliadas separadamente. As pegadas hídricas azul e verde foram analisadas em detalhes. Desse modo, os resultados mostraram que a média da WFs na província de Van foi de 8,73 bilhões m³ por ano. Em toda a província, (87,6%) da WF é composta pelas culturas, (4,9%) da pecuária e (7,5%) referente ao uso doméstico e industrial. Das culturas, (62,5%) depende da água azul, ou seja, água doce. A maior parte da pecuária consistiu em gado leiteiro (49%) e ovelhas (38%). A média dos setores doméstico e industrial, para o período de 2004 a 2019 foi de 0,64 bilhão m³ por ano.

A média per capita da pegada hídrica da província de Van foi determinada como 889,9 m³ por ano per capita. Além disso, a província é classificada com escassez severa de água (257%). Deste modo, este estudo é um dos primeiros cálculos baseados em províncias de WFs na Turquia e é o primeiro estudo a trazer um aspecto diferente à literatura publicada ao incluir a umidade residual do solo de acordo com os meses de inverno. Como resultado deste estudo, a água azul das culturas está acima da média mundial e deve ser reduzida alterando o padrão das culturas. Além disso, deve contribuir para novos estudos para calcular a WFs em escala provincial e terá efeitos positivos em relação ao planejamento agrícola, alocação de água e sustentabilidade dos recursos hídricos.

Em suma, o artigo de Paterson *et al.* (2015) é uma revisão abrangente da literatura sobre a pegada hídrica das cidades. Não se concentra em um estudo de caso específico, mas analisa a literatura existente e sugere direções para futuras pesquisas. Este artigo oferece uma visão importante sobre o estado atual da pesquisa sobre a pegada hídrica das cidades e sugere direções promissoras para futuras pesquisas. Por outro lado, o artigo de Manzardo *et al.* (2016) propõe uma metodologia para avaliar a contabilidade da pegada hídrica do uso direto de água

em nível urbano. Este estudo é mais focado e detalhado em sua abordagem, concentrando-se em um único local e aplicando uma metodologia específica para avaliar a pegada hídrica. Finalmente, o artigo de Vieira e Junior (2015) também apresenta um estudo de caso específico, mas desta vez na cidade de Caraguatatuba-SP. Este estudo considerou as pegadas hídricas do sistema de água urbana, da produção de esgoto, da pecuária e da água utilizada no meio rural.

O artigo de Yerlin e Sahin (2021) abrange um novo ponto referente à pegada hídrica urbana, pois considera a inclusão da umidade residual do solo durante os meses de inverno, logo possibilita uma nova elaboração que permite sincronizar datas de plantio e colheita de culturas para um período que possa utilizar da precipitação. Portanto, contribui para a sustentabilidade hídrica.

Logo, os autores e seus respectivos estudos aplicam metodologias para avaliar a pegada hídrica em nível urbano. Cada um desses artigos contribui para o campo da gestão dos recursos hídricos de maneiras diferentes e oferece diretrizes sobre como a pegada hídrica pode ser medida e gerenciada em nível urbano.

DESAFIOS DA SUSTENTABILIDADE HÍDRICA

De acordo com Ribeiro e Pizzo (2011), a sustentabilidade hídrica implica em um delicado equilíbrio entre a disponibilidade e a utilização da água, garantindo que tanto as fontes superficiais quanto subterrâneas sejam exploradas de forma responsável, sem exceder sua capacidade de renovação. Portanto, é evidente que a sustentabilidade hídrica está intrinsecamente ligada à busca por uma gestão equilibrada de vários aspectos, destacando-se a relação entre a demanda e a oferta de água. No entanto, outros fatores também desempenham papel significativo na promoção da sustentabilidade hídrica, como a escassez qualitativa e econômica, a acessibilidade à água, a saúde pública, a preservação ambiental dos ecossistemas, bem como a compreensão dos usuários referente aos recursos hídricos.

Portanto, de acordo com Shiva (2006, p. 17),

[...] diz-se que um país enfrenta uma crise de água quando a água disponível é menos de mil metros cúbicos por habitante ano. Abaixo desse ponto, a saúde e o desenvolvimento econômico de uma nação são dificultados consideravelmente.

Para Ribeiro (2008, p. 71), referente a pressão hídrica responsável pelo comprometimento da sobrevivência da população, ressalta que:

O estresse hídrico é a pressão exercida pela falta de água, enquanto a escassez representa a efetiva falta de água. Dentro de uma escala progressiva, o estresse vem primeiro que a escassez, mas ambas as situações causam sérios problemas.

A noção de sustentabilidade hídrica se fundamenta em uma perspectiva holística que considera não apenas os aspectos ambientais, mas também os econômicos e sociais (Plummer et al., 2012). Portanto, a discussão em torno da sustentabilidade da água demanda uma abordagem abrangente que incorpore diversos tipos de informações, incluindo uma análise detalhada dos recursos hídricos disponíveis em uma determinada região, as atuais e previstas taxas de consumo de água, bem como as políticas orientadas para o setor (Linhoss e Jeff Ballweber, 2015).

Conforme Juwana *et al.* (2016) destacam, um índice de sustentabilidade hídrica representa uma ferramenta valiosa para obter informações sobre a condição dos recursos hídricos, de forma acessível e compreensível tanto para especialistas e técnicos do setor quanto para leigos. Assim, esse índice pode ser elaborado a partir de indicadores relacionados à sustentabilidade dos recursos hídricos, os quais são agrupados para formar o índice global.

Segundo Wang *et al.* (2015), alcançar a sustentabilidade hídrica requer o acesso universal à água potável, saneamento e higiene, aprimorar a eficiência na utilização da água para fins econômicos, fortalecer uma gestão equitativa, participativa e responsável dos recursos hídricos, melhorar a administração de águas residuais e preservar a qualidade da água, além de reduzir os riscos associados a desastres naturais e aqueles influenciados pelas atividades humanas.

Em vista disso, consoante aos autores citados, há a importância de junção dos aspectos sociais, econômicos, ambientais e políticos e requer a participação de todos os setores da sociedade na gestão integrada dos recursos hídricos para solucionar possíveis desafios. E, para enfrentá-los, é necessário adotar medidas como: o uso racional e eficiente da água, a preservação e a recuperação das nascentes, dos rios e dos reservatórios, a implementação de sistemas de tratamento e reúso da água, a educação ambiental e a conscientização da população, o fortalecimento das instituições e dos instrumentos de gestão e a cooperação entre os diferentes usuários (WWFBRASIL, 2011).

Diante dos desafios, há também possíveis iniciativas sobre o uso da água, como: adotar medidas de adaptação e mitigação às mudanças climáticas, que afetam diretamente o ciclo hidrológico. Algumas iniciativas que contribuem para a sustentabilidade hídrica são: o reaproveitamento da água da chuva, o tratamento de esgotos, a recuperação de nascentes, a proteção de áreas de preservação permanente, o incentivo à agricultura orgânica, a redução do consumo de água nas atividades domésticas e industriais (Maia *et al.*, 2012).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pegada hídrica urbana é uma medida crítica da quantidade de água consumida diretamente e indiretamente por um habitante ou população. Ela engloba o consumo de água através de várias atividades, incluindo uso doméstico, produção de alimentos, energia e outros bens e serviços. A análise da pegada hídrica pode revelar a extensão do desequilíbrio de uma cidade em relação aos recursos hídricos, podendo colaborar na identificação de oportunidades para a gestão mais sustentável da água. No entanto, também apresenta desafios significativos. Em muitas cidades, a infraestrutura de água e saneamento é inadequada, levando ao desperdício e à poluição. Além disso, o rápido crescimento urbano pode levar a um aumento na demanda por água, contribuindo para a pressão sobre os recursos hídricos já escassos. Em muitas cidades, o acesso à água limpa e segura é desigual. A gestão da pegada hídrica urbana requer, portanto, uma consideração cuidadosa das questões de equidade, bem como dos impactos ambientais. Em conclusão, é imprescindível analisar a pegada hídrica como um indicador ambiental para complementar outras práticas de gestão da água como a conservação, preservação dos recursos hídricos, ecossistemas aquáticos e a implementação de práticas sustentáveis. Além disso, permite distinguir áreas de elevado consumo hídrico, distinguir oportunidades de eficiência e fomentar a redução do impacto ambiental.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Brasília: ANA, 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjunta dos recursos hídricos no Brasil**. Informe 2014. Brasília, 2015.

ALLAN, J. A. **Virtual water: a strategic resource**. Global solutions to regional deficits, *Ground Water*, v. 36, n. 4, p. 545-546, 1998.

AMIN, M. M.; AMIN, A. H. C.; SÁ, L. S. Água: Direito humano ou mercadoria? A busca pela garantia do acesso universal dos recursos hídricos através da privatização do serviço. *Revista Direitos Sociais e Políticas Públicas (UNIFABIBE)*, v. 10, n. 3, set./dez. 2022.

BARROS, F. G. N.; AMIN, M. M. **Água: Um bem econômico de valor para o Brasil e o mundo**. 2007.

CARDOSO, H. E. A.; MANTOVANI, E. C.; COSTA, L. C. **As águas da agricultura**. *Agroanalysis*. Instituto Brasileiro de Economia/Centro de Estudos Agrícolas. Rio de Janeiro, p. 27-28, 1998.

CAVALCANTE, L.; MACHADO, L. C. G. T.; LIMA, A. M. M. de. **Avaliação do desempenho ambiental e racionalização do consumo de água no segmento industrial de produção de bebidas**. *Revista Ambiente & Água*, v. 8, n. 3, 2013.

CHAPAGAIN, A. K.; HOEKSTRA, A. Y. **The water footprint of coffee and tea consumption in the Netherlands**. *Ecological Economics*, v.64, p.109-118, 2007.

CHRISTOFIDIS, D. **A água e a crise alimentar**. Disponível em: <www.iica.org.br/Aguatrab/Demetrios%20Christofidis/P2TB01.htm>. 1997. Acesso em: 4 set. 2023.

COSTA, L. **Contribuições para um modelo de gestão da água para a produção de bens e serviços a partir do conceito de pegada hídrica**. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

DE CARVALHO, S. A. **O direito fundamental ao saneamento básico como garantia do mínimo existencial social e ambiental**. *Revista Brasileira de Direito*, v. 8, n. 2, p. 6-37, out. 2012.

ERCIN, A. E.; ALDAYA, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. **Corporate water footprint accounting and impact assessment: the case of the water footprint of sugar-containing carbonated beverages**. *Water Resources Management*, v.25, p. 721-741, 2011.

FERRAZ, A. S.; GONÇALO, C.; SERRA, D.; CARVALHOSA, F.; REAL, H. **Água: A pegada hídrica no setor alimentar e as potenciais consequências futuras**. Acta Portuguesa de Nutrição, v. 22, p. 42-7, 2020.

FRACALANZA, A. P.; FREIRE, T. M. **Crise da água na Região Metropolitana de São Paulo: injustiça ambiental, privatização e mercantilização de um bem comum**. Geosp – Espaço e Tempo (Online), v. 19, n. 3, p. 464-478, 2016.

HESPANHOL, I. **Água e saneamento básico**. In: REBOUÇAS, A. da C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Orgs.). Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação. 3. ed. São Paulo: Escrituras, p. 269-323, 2006.

HINRICHSEN, S. L., NETO, J. M. J., ROLIM, H. **Varíola**. In: **Hinrichsen, S. L. org. DIP: Doenças Infecciosas e Parasitárias**. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, p. 126-133, 2005.

HOEKSTRA, A. Y. et al. **The water footprint assessment manual**. 1. ed. London: Water Footprint Network, p. 224, 2011.

HOEKSTRA, A. Y.; HUANG, P. Q. **Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade**. Value of water research report series. Institute for Water Education. Holanda: UNESCO-IHE, p. 66, 2002.

IRIGARAY, M. C.; GORCZEVSKI, C. **Água como bem comum: o reconhecimento de um direito humano**. In: Mônia Clarissa Hennig Leal; André Viana Custódio. (Org.). Fundamentos Constitucionais das Políticas Públicas. 1ed. Curitiba/PR: CRV, v. II. 2019.

ISO 14046:2014. **Environmental management — Water footprint — Principles, requirements and guidelines**. International Organization for Standardization, 2014. Disponível em: <ISO 14046:2014 - Environmental management — Water footprint — Principles, requirements and guidelines>.

JUWANA, I.; MUTTIL, N.; PERERA, B. J. C. **Application of west java water sustainability index to three water catchments in west java, Indonesia**. Ecological indicators, v. 70, p. 401-408, 2016.

LACERDA, P. P. **Pegada hídrica da bacia do Ribeirão Pipiripau: uma nova abordagem metodológica**. Monografia (graduação) - Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal, 2015.

LINHOSS, A.; JEFF BALLWEBER, J. D. **Incorporating uncertainty and decision analysis into a water-sustainability index**. Journal of Water Resources Planning and Management, v. 141, n. p. 12, 2015.

MAIA, H. J. L.; HORA, S. C.; FREITAS, J. P.; VIEIRA, A. A. P.; FREITAS, F. E. **A pegada hídrica e sua relação com os hábitos domésticos, alimentares e consumistas dos indivíduos**. Polêmica, v. 11, n. 4, outubro/dezembro 2012.

MANZARDO, A.; LOSS, A.; FIALKIEWICZ, W.; RAUCH, W.; SCIPIONI, A. **Methodological proposal to assess the water footprint accounting of direct water use at an urban level: A case study of the Municipality of Vicenza.** Ecological Indicators, v. 69, p. 165-1753, 2016.

MARACAJÁ, K. F.; DA SILVA, V. de P. R.; NETO, J. D.; ARAÚJO, L. E. de. **Pegada hídrica como indicador de sustentabilidade ambiental.** REUNIR Revista de Administração Contabilidade e Sustentabilidade, [S. l.], v. 2, n. 2, p. 113-125, 2012. Disponível em: <https://reunir.revistas.ufcg.edu.br/index.php/uacc/article/view/75>. Acesso em: 4 set. 2023.

MARTINEZ-AUSTRIA, P. **Uso eficiente del agua en riego.** In: Uso eficiente del agua. 1991. Disponível em: <www.unesco.org.uy/phi/libros/uso_eficiente/cap4.html>. Acesso em: 4 set. 2023.

MARQUES, L. **A Mercantilização Da Água Avança ‘Pari Passu’ Com A Escassez.** In: Jornal da UNICAMP, 27/05/2017. Disponível em: <https://www.unicamp.br/unicamp/ju/artigos/luiz-marques/mercantilizacao-da-agua-avanca-pari-passu-com-sua-escassez>. Acesso em: 4 set. 2023.

MARQUES, R. V. **Recursos hídricos no Brasil: um panorama histórico e institucional.** R. Tecnologia & Cultura, v. 19, n. 29, p. 15- 23, 2017.

MEKONNEN M. M.; HOEKSTRA A. Y. **The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products.** Hydrol Earth Syst Sci 15(5): p. 157-600, 2011.

NASCIMENTO, N.; GALDINO, S.; MOTA, T.; SOUSA, J.; L.; MACHADO, R. **O uso das pegadas hídricas na agricultura do Brasil.** Research, Society and Development, v. 10, 2021.

OECD. **Governança dos Recursos Hídricos no Brasil.** OECD Publishing, Paris, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264238169-pt>. Acesso em: 4 set. 2023.

OKI, T.; KANAE, S. **Virtual water trade and world water resources.** Water Science and Technology, v.49, p.203-209, 2004.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Sustainable Development Goal 6: Água potável e saneamento.** Disponível em: Sustainable Development Goal 6: Água potável e saneamento | As Nações Unidas no Brasil Acesso em: 20 fev. 2024.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Declaração Universal dos Direitos da Água,** 1992. Disponível em: 1483371864_ONU-Declaração Universal dos Direitos da Água.pdf (usp.br). Acesso em: 20 fev. 2024.

PATERSON, W.; RUSHFORTH, R.; RUDELL, B.; L. **Water Footprint of Cities: A Review and Suggestions for Future Research.** Sustainability, v. 7, n. 7, p. 8461-84902, 2015.

PLUMMER, R.; DE LOË, R.; ARMITAGE, D. **A systematic review of water vulnerability assessment tools**. *Water Resour. Manage.*, v. 26, n. 15, p. 4327–4346, 2012.

RIBEIRO, C.; R. SILVA P.; H., da. **Avaliação da sustentabilidade hídrica de Juiz de Fora/MG**. *Mercator - Revista de Geografia da UFC*, v. 10, n. 21, p. 171-188, 2011.

RIBEIRO, W. C. **Geografia política da água**. São Paulo: Annablume, 2008.

SILVA, V. P. R.; ALEIXO, D. O.; DANTAS NETO, J.; MARACAJÁ, K. F. B.; ARAÚJO, L. E. **Uma medida de sustentabilidade ambiental: Pegada hídrica**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 17, n. 1, p. 100–105, 2013.

SHIVA, V. **Guerra por água: privatização, poluição e lucro**. São Paulo: Radical Livros, 2006.

TEODORO, R. E. A. **Estudo da pegada hídrica do município de Faro e a sua minimização**. Dissertação de mestrado, Engenharia do Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade do Algarve, 2016. Disponível em: <https://sapientia.ualg.pt/handle/10400.1/9824>. Acesso em: 4 set. 2023.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Carlos: Rima, p. 248, 2003.

VIEIRA, B.; SOUSA, J.; W. **Contribuições para a abordagem municipal da pegada hídrica: Estudo de caso no litoral de São Paulo**. *Ambiente & Sociedade*, v. 18, n. 3, 2015.

WANG, Z.; SONG, H.; WATKINS, D.; ONG, K.; XUE, P.; YANG, Q.; SHI, X. **Cyber-physical systems for water sustainability: challenges and opportunities**. *IEEE Communications Magazine*, v. 53, n. 5, p. 216-222, 2015.

WATER FOOTPRINT NETWORK. **Water Footprint Assessment Tool**. 2011. Disponível em: <https://wfa.waterfootprint.org/>. Acesso em: 4 set. 2023.

WWFBRASIL. **Pegada Hídrica incentiva o uso responsável da água**. 2011.

YERLI, C.; SAHIN, U. **An assessment of the urban water footprint and blue water scarcity: A case study for Van (Turkey)**. *Brazilian Journal of Biology*, v. 82, 2021.