

A água virtual na produção de grãos no Estado do Ceará, Brasil

The virtual water in grain production in Ceará State, Brazil

Jerônimo Marcelino Dias¹, Moises Dias Gomes de Asevedo², Henrique Tomé da Costa Mata³, Daniel Lemos Jeziorny⁴, Wesley Leitão de Sousa⁵

RESUMO: A escassez hídrica traz à tona a necessidade de calcular o consumo de água na produção de arroz, feijão e milho no Estado do Ceará. O objetivo do trabalho foi de analisar a água virtual da produção de arroz, feijão e milho no Estado do Ceará durante o período de 2007 a 2016. Para tanto utilizou-se a metodologia proposta por Hoekstra *et al.* (2011), que considera para o cálculo a água doce superficial ou subterrânea, a água provinda da precipitação que é armazenada no solo e a água utilizada para diluir os poluentes na produção. Expostos os resultados, percebe-se que a maior pegada hídrica azul está associada à produção de milho, ao passo que a pegada hídrica verde mais significativa à produção de feijão, bem como a maior pegada hídrica cinza à produção de milho.

Palavras-chave: Gestão dos recursos hídricos. Pegada hídrica. Valoração ambiental.

ABSTRACT: Water scarcity brings up the need to calculate water consumption in the production of rice, beans and corn in the state of Ceará. The objective of this paper was to analyze the virtual water of rice, beans and maize production in the state of Ceará during the period from 2007 to 2016. The methodology proposed by Hoekstra *et al.* (2011) which considers for the calculation the superficial or subterranean water, the water coming from the precipitation that is stored in the soil and the water used to dilute the pollutants in the production. Once the result was exposed, it was noticed that the largest blue water footprint came from the production of maize, the largest green water footprint came from bean production, since it is a crop with little water demand and the largest footprint in the production of maize.

Keyword: Environmental valuation. Management of water resources. Water footprint.

Autor correspondente: Moises Dias Gomes de Asevedo
E-mail: moisesdga@gmail.com

Recebido em: 21/12/2021
Aceito em: 19/01/2023

INTRODUÇÃO

Quando chove no sertão
O sol deita e a água rola
O sapo vomita espuma
Onde um boi pisa se atola
E a fartura esconde o saco
Que a fome pedia esmola
(Lira Filho & Barros)

¹ Doutorando em Economia pela Universidade Federal da Bahia, Brasil.

² Mestre em Economia Rural pela Universidade Federal do Ceará

³ Professor do Departamento de Economia da Universidade Federal da Bahia

⁴ Professor do Departamento de Economia da Universidade Federal da Bahia

⁵ Doutorando em Economia pela Universidade Federal do Ceará



A escassez hídrica na Região Nordeste brasileira é tema de inestimável produção literária - e artística em geral - em que a fome é retratada, invariavelmente, de forma a mostrar a aspereza de uma realidade marcada pelas agruras que a escassez de água é capaz de provocar, não apenas aos seres humanos, mas também aos ecossistemas que os abrigam. No entanto, o que parece ser menos lembrado - mas certamente muito menos retratado pela arte - é que naquela região do Brasil, que contrasta as amarguras e vicissitudes da seca com a exuberância e pletora material de sua borda marítima, há também espaço para uma agricultura farta o suficiente para “esconder o saco que a fome pede esmola”.

Dada a perspectiva, o estudo parte de uma premissa teórica basilar, a de que há limites físicos ao crescimento econômico, logo, de que é preciso gerenciar com o maior cuidado possível os recursos que a natureza oferece e que servem de condições gerais de produção, sob pena de se inviabilizar trajetórias futuras de desenvolvimento. Nesse sentido, a água cobra importância decisiva pela centralidade que assume não apenas no que toca à produção de mercadorias, mas a própria manutenção da vida.

Logo, vale sublinhar que tal premissa não é unicamente um ponto de partida teórico, mas também um elemento que justifica e, praticamente, impele à investigação das formas da apropriação dos recursos hídricos hoje e de suas possíveis consequências às gerações futuras. Afinal, a manutenção das condições gerais de produção passa diretamente pelas formas assumidas pela apropriação dos recursos hídricos nos diferentes padrões de reprodução do capital nos dias atuais. Ou seja, o estudo em tela é motivado por uma preocupação com o manejo responsável de um “bem comum”, essencial não apenas à produção agropecuária, industrial e de serviços, mas à vida em todas as suas expressões - como muito bem sabem as populações das regiões mais secas do planeta.

Contudo, a despeito de se a realidade da seca se apresente pela dureza da fome, pelo encantamento da arte ou pela constatação de estudos e formulações teóricas, há cada vez mais consenso de que a crescente escassez de recursos hídricos traz preocupações igualmente crescentes, que se aviltam quando contrastadas com projeções como as da *Food and Agriculture Organization* (FAO), podendo ser traduzida como Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura, de que a população mundial inclina-se a cerca de 9,8 bilhões de seres humanos em 2050, o que tende a jogar ainda mais pressão sobre os estoques de recursos hídricos disponíveis no planeta hoje - vale lembrar que o consumo mundial de água cresce cerca de 1% ao ano desde 1980 (FAO, 2022).

Nessa linha, talvez importe relembrar que a agropecuária, segundo dados da mesma FAO (2022), é a atividade econômica que mais se utiliza destes recursos, pois, incluindo irrigação, pecuária e aquicultura, responde por 69% da água potável consumida anualmente no mundo. A indústria responde por 19% inclusa a geração de energia; o consumo domiciliar por 12%. Logo, frente ao aumento da demanda por produtos agropecuários que o crescimento populacional reclama, associa-se uma recrudescente preocupação quanto ao uso sustentável dos recursos hídricos. Afinal, os conflitos pela água podem aumentar significativamente com o estresse hídrico, que tende a crescer ao passo do crescimento da população mundial e da degradação de ecossistemas que a acompanha, especialmente sob a batuta do metabolismo inaugurado pela era industrial.

Com efeito, alguns estudos têm demonstrado que esta dinâmica conflitiva já está em curso. O recente “Relatório mundial das Nações Unidas sobre desenvolvimento dos recursos hídricos 2019: não deixar ninguém para trás” (Connor; Uhlenbrook; Koncagul, 2019) revela que os conflitos pela água triplicaram no mundo desde 2010. Uma tensão que deriva da difícil equação de se conciliar interesses diversos sobre um recurso indispensável e crescentemente escasso entre projetos por vezes antagônicos, como as necessidades da produção de subsistência em intercurso com a produção de *commodities* destinadas a circular em mercados globais em escala crescente e velocidade acelerante.

Como instrumento capaz de fornecer dados de grande utilidade ao gerenciamento dos recursos hídricos, a pegada hídrica é um indicador que revela o consumo de água potável no espaço e tempo, fornecendo informações significativas sobre como o recurso é destinado a diferentes propósitos. Daí sua importância, especialmente para aquelas regiões marcadas por baixo regime pluviométrico, baixa umidade e elevadas temperaturas, como o Nordeste brasileiro.

No trabalho em tela, e não de uma perspectiva artística, mas da economia ecológica, o objetivo é esquadrihar um pontual aspecto desta complexa realidade: o volume de água virtual da cultura de arroz, feijão e milho no Estado do Ceará.

Ademais desta breve introdução, na sequência levantam-se algumas considerações sobre os aspectos que dão base teórica ao estudo, além de algumas considerações gerais relacionadas ao que se entende por “água virtual” e “pegada hídrica”. Em seguida, discute-se os principais materiais e a metodologia empregada no cálculo da pegada hídrica, bem como os principais resultados alcançados a partir destes. Por fim, algumas considerações finais

sintetizam minimamente o trabalho que, de maneira alguma, visa esgotar a discussão, mas - com sorte - estimular o seu aprofundamento.

2 ECONOMIA ECOLÓGICA: ESCALA E VELOCIDADE DE REPRODUÇÃO SISTÊMICAS EM PERSPECTIVA

À corrente de pensamento da Economia Ecológica, dos quais Georgescu Roegen e Herman Daly despontem provavelmente como os mais reconhecidos, a questão da sustentabilidade do desenvolvimento socioeconômico se resume, grosso modo, a uma questão de encontrar a escala e velocidade de reprodução ótimas ao sistema econômico, haja vista tanto a finitude como a capacidade de regeneração dos recursos naturais que servem de insumos às atividades produtivas.

A rigor, trata-se de um campo de pesquisa que estuda a interdependência e a coevolução dos sistemas econômicos com os ecossistemas. Nessa linha, os autores que conformam esta corrente de pensamento costumam defender a necessidade de se compatibilizar a escala e a velocidade de reprodução do sistema produtivo com os limites biofísicos do planeta. Isto, uma vez que este sistema maior, que abriga tanto os diferentes ecossistemas quanto os distintos subsistemas socio-reprodutivos geograficamente localizados é, ele próprio, um sistema complexo, porém fechado à entrada de matéria, ainda que não à de energia.

A Terra é, portanto, um destes sistemas materialmente fechados, mas abertos à entrada de energia. A rigor, um sistema que lança mão do fluxo de energia solar para manter algum grau interno de organização. Essa organização é justamente o que conhecemos por biosfera:

[a] existência de matéria e energia organizadas na forma de seres vivos a conviver em um ecossistema no qual se estabelecem múltiplas relações entre formas de vida distintas, que coevoluíram de maneira a aproveitar da forma mais eficiente possível o fluxo de energia disponível (Gonzalez; Jeziorny, 2017, p. 2).

Daí que, sendo o “sistema Terra” um sistema materialmente fechado, em algum momento será preciso “desacelerar” o crescimento econômico, pelo menos no que toca à utilização de matéria, ou, recursos naturais, sob pena de se causar uma profunda desarticulação no funcionamento deste sistema maior - no limite, inviabilizando-se a própria vida.

Dessa perspectiva teórica, Romeiro (2012) assevera que o “desenvolvimento sustentável” requer compreensão como um processo de melhora no bem-estar humano, com base numa

produção material e energética garantidora de conforto, porém estabilizada num nível compatível com os limites termodinâmicos do planeta. O que implica numa espécie de “Estado Estacionário”, em que o crescimento do consumo enquanto fator de emulação social dê lugar a outro tipo de crescimento: cultural, psicológico e espiritual. Isso mediante um processo de desenvolvimento - ou complexificação sistêmica - no qual se inscreva a melhora permanente nas condições necessárias para a realização da capacidade que as pessoas têm de florescer plenamente.

Em texto seminal, Daly (1990) descreve que os conceitos de “desenvolvimento sustentável” e “crescimento sustentável” se tornaram muito próximos e, com isso, também um tanto vagos, sobretudo à medida que cresce a tendência por tratá-los enquanto sinônimos - o que rigorosamente não são. Daí que o primeiro passo para os diferenciar seja, obviamente, distinguir “crescimento” de “desenvolvimento”. Assim, enquanto o primeiro diz respeito a um aumento quantitativo, o segundo remete a uma mudança qualitativa nas esferas constitutivas de determinada formação social. Desenvolvimento e crescimento são, portanto, conceitos que designam mudanças de naturezas distintas.

De acordo com Daly (1990), nestes termos é possível inclusive que o desenvolvimento não requeira necessariamente crescimento econômico. É o que aconteceria caso uma sociedade melhorasse o padrão de bem-estar da maioria de seus integrantes, mesmo sem aumentar a quantidade de bens (ou mercadorias) que é capaz de produzir: a partir da distribuição de riqueza, por exemplo. Ademais, desde que uma economia qualquer seja um subsistema de um sistema maior que a contém, global e finito, o seu crescimento deve apresentar limites físicos, impostos justamente por esse sistema maior, a biosfera, organizada a partir de seus distintos ecossistemas.

Assim, mesmo que se reconheça a importância do crescimento econômico para alcançar patamares mais elevados de complexidade e bem-estar sociais, uma economia não pode crescer infinitamente, pois depende dos recursos finitos para tanto. Ademais, no fundo deste raciocínio repercute o fato de que os recursos “naturais” e “produzidos pelo homem” não podem ser tratados enquanto substitutos perfeitos, mas sim como recursos complementares, haja vista que não jogam o mesmo papel no processo de transformação. De maneira geral, os “recursos produzidos pelo homem” são utilizados como ferramentas nos processos de transformação dos “recursos naturais”, logo, não há substitubilidade perfeita entre ambos (Daly, 1990).

Nessa linha, e ainda de acordo com o pensamento de Daly (1990), duas considerações merecem atenção. Primeiro, que a taxa de coleta, ou de extração de recursos renováveis, deve ser igual à taxa de regeneração desses recursos. Segundo, que a taxa de emissão de resíduos

provenientes dos processos de transformação deve ser igual à taxa de assimilação da natureza. Logo, há de se compatibilizar a escala e a velocidade de reprodução do sistema produtivo com os limites biofísicos do planeta.

Sustentabilidade do desenvolvimento, nesta perspectiva, remeteria a um problema de tempo complexo, isto é, de compatibilizar a escala e a velocidade de reprodução do sistema econômico com a velocidade de assimilação e regeneração da biosfera. Assim sendo, conforme procuraremos demonstrar na seção seguinte, o cálculo da pegada hídrica assume ares de ferramenta de grande utilidade para se encaminhar processos de desenvolvimento em harmonização com os limites biofísicos do planeta - afinal, fornece um bom panorama da dinâmica de consumo deste recurso essencial às atividades produtivas e à vida.

3 ÁGUA VIRTUAL E PEGADA HÍDRICA

Muitas economias localizadas em regiões áridas têm metade do suprimento hídrico de que necessitam e muitos chefes de Estado já manifestaram, inclusive, disposição para “guerrear pela água”. Contra este pano de fundo, o conceito de água virtual surge decisivamente após um questionamento proposto por Allan (1998), ao não compreender o porquê de conflitos abertos de grande escala, pela apropriação dos recursos hídricos, ainda não tenham tomado lugar na história das sociedades modernas.

A resposta a esse questionamento se deu, segundo Bassi (2016), pelo fato da distribuição do estoque planetário de água despontar muitas vezes atrelado ao intercâmbio de mercadorias, que carregam volumes substanciais desse recurso. As mercadorias transacionadas mundialmente carregam água em sua composição e é justamente o volume deste insumo (presente nas mercadorias) deslocado espacialmente pelas veias do mercado mundial que se entende por “água virtual”. É isso que permite tanto contornar a escassez interna como abrandar o ânimo beligerante.

Assim, um país com escassez de água pode importar produtos intensivos em água e exportar produtos menos intensivos nesse recurso, o que implica necessariamente em exportação e importação de água na forma “virtual” (Gelain; Istake, 2015).

Portanto, o conceito de “água virtual” elaborado inicialmente por Allan (1998) - e redefinido por Renault (2002) - diz respeito ao comércio indireto da água que se encontra, por assim dizer, embutido em certas mercadorias. Trata-se, portanto, de uma ferramenta analítico-metodológica que visa compreender as especificidades do consumo de água de forma indireta

mas, também, por aquele consumo que responde pelo fluxo mercantil nos mais diversos pontos da economia mundial.

Nessa linha, Bleninger e Kotsuka (2015) asseveram que, por meio da quantificação da “água virtual”, é possível compreender o caráter global da água doce, bem como os efeitos do consumo e do comércio no uso dos recursos hídricos. Beltrán e Velazquez (2015), por sua vez, apontam duas funcionalidades para o cálculo da “água virtual”. A primeira é proporcionar informação mais acurada a respeito dos requerimentos de recursos hídricos das diversas mercadorias de origem agrícola. A segunda mapear os fluxos de água por meio do comércio dessas mercadorias.

Pegada hídrica (PH) é um indicador multidimensional de sustentabilidade que visa mensurar o volume de água potável consumido durante a produção e consumo de um bem e/ou serviço ao longo de toda a sua cadeia produtiva, isto é, o consumo produtivo direto e indireto de água para uma atividade produtiva orientada a um fim específico (Hoekstra, 1998; Hoekstra *et al.*, 2011; Maracajá *et al.*, 2012).

De acordo com Hoekstra (2011), dados de pegada hídrica global, calculados anualmente, podem ser úteis - dentre outras finalidades - à construção de projeções preliminares do consumo mundial futuro de água, em virtude de mudanças nos padrões de consumo; assim como os dados de uma pegada hídrica regional, calculados mensalmente, para fornecer os subsídios essenciais à identificação de áreas críticas, cujos fluxos de água estejam ameaçados. De um ponto de vista nacional, por exemplo, calcular a pegada hídrica da produção de uma *commoditie* agrícola, destinada à exportação, pode indicar que o valor recebido pelas exportações não compensa o volume de água contido em tais mercadorias em um contexto de crise hídrica.

De todo modo, de acordo com a natureza do fluxo, estimacões que laçam mão do método da pegada hídrica classificam este “bem comum” em três categorias. A “água azul”, proveniente dos cursos superficiais e dos reservatórios subterrâneos; a “água verde”, que provém de dinâmicas de apropriação dos próprios ecossistemas e que se concentra, sobretudo, na composição das plantas; a “água cinza”, necessária para diluir a poluição oriunda das atividades produtivas, de maneira tal que não venha a prejudicar a qualidade da água nos cursos receptores de efluentes. Logo, se a água azul diz respeito ao uso direto, as demais referem-se ao uso indireto da água (Hoekstra *et al.*, 2011).

Daí que se pode calcular a pegada hídrica das águas “azul”, “verde” e “cinza”, e o somatório destas indica a pegada hídrica total. De acordo com Gonzalez (2019), tais tipos de água resultam de metabolismos diferentes, por seu turno, intercorridos em subsistemas distintos,

com dinâmicas dotadas de distintas temporalidades (ou velocidades de reprodução diferentes). A classificação e mensuração corretas de seus diferentes usos são essenciais à plena apreensão da dinâmica de utilização da água nos diferentes subsistemas produtivos. Para se ter uma ideia, afirma o supracitado autor (citando Hoff, 2010) que, em relação à produção agrícola global, o uso da água verde pode alcançar cinco vezes o volume total de água azul - o que nos fornece uma boa medida da importância da mensuração correta da pegada hídrica em suas diferentes categorias, sobremaneira à gestão eficiente dos recursos hídricos em determinado tempo-espço.

Com efeito, a PH azul expressa o consumo de água superficial ou subterrânea de uma bacia hidrográfica e, grosso modo, representa a utilização destas águas ao longo de uma cadeia produtiva, seja na irrigação, na indústria ou mesmo nos domicílios, desde que não tenha retornado ao solo ou superfície de origem, mas evaporada ou absorvida por outra bacia hidrográfica ou pelo mar (Ercin *et al.*, 2013; Ercine; Hoestra, 2014).

A PH verde, por seu turno, mede o consumo de água da chuva absorvida pela vegetação posteriormente utilizada em algum processo produtivo, logo, a precipitação que não experimenta escoamento superficial ou infiltração ao ponto de contribuir à reposição das águas subterrâneas (Bosire *et al.*, 2015; Ercin *et al.*, 2013).

Já a PH cinza refere-se ao volume de água potável necessária para diluir os poluentes resultantes do metabolismo social, a fim de atender aos padrões de qualidade estabelecidos pelas legislações ambientais vigentes para o lançamento em corpos receptores (Hoekstra *et al.*, 2011); ou mais precisamente “a quantidade de água necessária para diluir os efluentes a um nível que não torne o ambiente inadmissível para as formas de vida aquáticas, que fornecem serviços ecossistêmicos” (Gonzalez, 2019, p. 168).

4 METODOLOGIA

4.1 FONTE DOS DADOS

A base de dados referentes à produtividade, rendimento médio, aplicação de agrotóxicos e fertilizantes utilizada foi organizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019). Os dados foram dispostos para o ano de 2007 e 2016 e separados por município. A escolha do intervalo de tempo analisado se deveu, portanto, à disponibilidade em relação aos dados segregados por município.

Os dados obtidos de evapotranspiração e precipitação pluviométrica foram organizados juntos à Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME, 2019), sendo os dados de evapotranspiração obtidos mediante uma média obtida após o cálculo de 38 anos por município e os dados referentes à precipitação foram obtidos para o ano de 2007 a 2016 por município.

4.2 CÁLCULO DA PEGADA HÍDRICA E DA ÁGUA VIRTUAL

Para estimar o volume de água virtual associado à produção de arroz, feijão e milho no Estado do Ceará, entre os anos de 2007 a 2016, foram realizadas três etapas, que envolvem o levantamento dos indicadores de água azul, verde e cinza, ou seja, a pegada hídrica para o cultivo desses grãos.

No cálculo da pegada hídrica, foram recolhidos os dados da FUNCEME (2018) que disponibilizam os valores das Evapotranspirações (ET_0) médias por município em milímetros, obtidas mediante o método de Pennan-Montelt (1998). Com isso foi calculada a Evapotranspiração da Cultura (ET_C), conforme equação (1):

$$ET_C = ET_0 \times \frac{1}{365} \times T_C \times S_C \times K_C \quad (1)$$

Sendo ET_0 do município dado em milímetros, que foi multiplicada pelo coeficiente da cultura (K_C), disponibilizada pela FAO 56 escrita por Allan, Pereira, Raes e Smith (1998, em que T_C é o período de plantio até a colheita dado em dias e S_C é o número de safras da cultura.

Na estimativa da precipitação efetiva (P_{EF}) foram coletados dados de pluviometria (P_{Total}) em milímetros (mm), disponibilizados por município e aplicada a fórmula empírica proposta pelos mesmos Allan, Pereira, Raes e Smith (1998), desenvolvida para regiões de clima seco, objeto de nosso trabalho, estimando perdas por escoamento superficial e percolação. A fórmula é apresentada nas equações (2) e (3):

$$P_{EF} = 0,6 \times P_{Total} - 10, \text{ se } P_{Total} \leq 70 \text{ mm} \quad (2)$$

$$P_{EF} = 0,8 \times P_{Total} - 24, \text{ se } P_{Total} > 70 \text{ mm} \quad (3)$$

Uma vez calculada a Evapotranspiração da Cultura e Precipitação Efetiva do município, foi realizada uma conversão de medida, transformando os dados de milímetros (mm) para

metros cúbicos por hectares (m^3/ha) a partir da multiplicação e divisão consecutiva por 10.000 metros quadrados, conforme mostrado na equação (4):

$$mm = m \times 10^{-3} \times \frac{10^4}{10^4} \times \frac{m^2}{m^2} = 10 m^3 \times ha^{-1} \quad (4)$$

Na obtenção da água azul, que se refere ao consumo de água do solo, será calculada a evapotranspiração azul, por meio de uma função que retorna o máximo valor entre zero e a diferença entre a ET_C obtida da equação (1) e P_{EF} , extraída da equação (2) e (3) - caso negativa, o valor será zero, conforme mostra a equação (5):

$$ET_{Azul} = \max(0, ET_C - P_{ef}) \quad (5)$$

Dessa forma, para o cálculo da Pegada Hídrica Azul, se teve a divisão da Evapotranspiração Azul pelo rendimento da cultura dado em quilogramas por hectares, conforme mostra a equação (6):

$$PH_{Azul} = \frac{ET_{Azul}}{RM} \quad (6)$$

Sendo RM o Rendimento médio, dado em quilogramas por hectare, obtido através do IBGE (2018).

Para a pegada hídrica verde será primeiro calculada a evapotranspiração verde, através de uma função que retorna os valores mínimos que trata a ET_C , retirada da equação (1) junto da precipitação efetiva, conforme mostra a equação (7):

$$ET_{Verde} = \min(ET_C, P_{ef}) \quad (7)$$

Dessa forma, no cálculo da Pegada Hídrica Verde da cultura, tem-se a divisão da Evapotranspiração Verde pelo rendimento médio da produção da cultura em kg/ha, conforme mostra a equação (8):

$$PH_{Verde} = \frac{ET_{Verde}}{RM} \quad (8)$$

Na computação da pegada hídrica cinza, a água destinada para diluição da carga de poluentes no corpo hídrico receptor, foi utilizada a equação (9):

$$PH_{Cinza} = \frac{L \times \left(\frac{CP}{C_{Max} - C_{Nat}} \right)}{RM} \quad (9)$$

Sendo L a fração da lixiviação sobre o escoamento que para esse estudo foi utilizado 10% conforme abordado no cenário Tier-1 proposto por Frankie *et al.* (2013). CP é a carga de poluentes que entra no sistema em kg/ha, cujos dados foram recolhidos mediante a soma da aplicação de agrotóxicos e do uso de fertilizantes, ambos recolhidos no sítio eletrônico do IBGE (2018). Cmax é a concentração máxima aceitável de poluentes no sistema em kg/m³, os dados foram obtidos em Frankie *et al.* (2013) e, finalmente, Cnat é a concentração natural de poluentes em um corpo de água, dado em kg/m³, que no caso desse estudo será utilizado o valor zero, uma vez que não se pretende subestimar o valor da pegada.

De posse das estimativas da água azul, verde e cinza foi possível quantificar o volume total de água destinado à produção de grãos no Estado do Ceará, no período de 2007 a 2016.

No cálculo da Pegada Hídrica, o importante é identificar qual tipo de água (azul, verde ou cinza) é mais utilizado em processos produtivos, enquanto a terminologia água virtual, considera a quantidade de água embutida nos produtos.

Assim, a quantidade de água virtual (QAV) de um produto é a soma das pegadas hídricas azul, verde e cinza, conforme apresentado na equação (10):

$$QAV = PH_{Azul} + PH_{Verde} + PH_{Cinza} \quad (10)$$

Note que, a QAV é representada em m³/kg, e, portanto, a estimativa do volume de água virtual associada às produções de arroz, milho e feijão foi obtida conforme a equação (11):

$$VAV_{i,j} = Q_{produzida} \times QAV_{i,j} \times 1000 \quad (11)$$

Em que: *i* se refere ao município produtor, indo de 1 a 184 municípios; *j* se refere ao ano, variando de 2007 a 2016; VAV corresponde ao Volume de Água Virtual em m³; e Q_{produzida} refere-se à massa, em tonelada, do grão produzido.

E, por fim, o Volume Total de Água Virtual (VTAV) associado à produção de grãos de arroz, feijão e milho no Estado do Ceará foi formulado a partir da somatória em (12):

$$VTAV = \sum VAV_{i,j} \quad (12)$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme estabelecido na metodologia, calculou-se a PH (azul, verde e cinza) das *commodities* agrícolas, e na computação da água virtual foram somados os três tipos de água, conforme dispostas na Tabela 1.

Tabela 1. Pegada Hídrica Azul, Verde e Cinza, Água Virtual e Acumulado da produção de grãos de arroz, feijão e milho no Estado do Ceará (2007 a 2016) em m³/kg⁶

Arroz	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Total
Água Azul	916,90	233,11	167,44	1662,80	183,88	1723,83	1594,88	543,11	1095,72	712,16	8833,84
Água Verde	456,60	298,72	549,90	518,74	330,11	457,35	718,96	201,11	388,03	445,20	4364,72
Água Cinza	0,17	0,06	0,08	0,27	0,06	0,28	0,29	0,09	0,18	0,15	1,64
Água Virtual	1373,68	531,89	717,43	2181,81	514,06	2181,45	2314,13	744,31	1483,93	1157,51	13200,20
Acumulado	1373,68	1905,57	2623,00	4804,81	5318,87	7500,32	9814,45	10558,76	12042,69	13200,20	

Feijão	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Total
Água Azul	1785,67	449,42	310,84	4188,90	311,64	7939,43	3400,90	1942,91	3866,46	3379,13	27575,30
Água Verde	1811,31	1517,33	3818,75	2088,19	1496,18	1689,12	2189,91	1323,11	2270,99	3281,28	21486,19
Água Cinza	0,89	0,49	1,03	1,55	0,45	2,34	1,38	0,80	1,50	1,65	12,09
Água Virtual	3597,87	1967,23	4131,62	6278,64	1808,27	9630,90	5592,20	3266,83	6138,95	6662,06	49073,57
Acumulado	3597,87	5565,10	9695,73	15974,37	17782,63	27413,54	33005,73	36272,56	42411,51	49073,57	

Milho	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Total
Água Azul	1171,61	230,77	115,49	4402,02	140,88	6769,39	3216,29	1398,43	4427,25	3586,52	25458,67
Água Verde	1334,37	806,90	2022,17	2176,57	724,64	1493,92	2032,68	872,80	2311,46	3810,50	17585,99
Água Cinza	0,55	0,23	0,48	1,44	0,19	1,80	1,15	0,50	1,44	1,62	9,40
Água Virtual	2506,53	1037,91	2138,13	6580,03	865,71	8265,11	5250,13	2271,13	6740,14	7398,64	43054,06
Acumulado	2506,53	3544,44	5682,57	12262,59	13128,31	21393,41	26643,54	28915,27	35655,42	43054,06	

Fonte: Estimado mediante os dados coletados do IBGE (2018) e FUNCEME (2018).

⁶ Números em negrito destacam em cada cultura os maiores valores por tipo de água (azul, verde e cinza) e água virtual, no período de estudo.

Em análise geral se percebe que a maior utilização é da água azul (aproximadamente 58,7%), proveniente da água doce superficial e subterrânea. O uso da água verde, oriunda das chuvas, é menor (cerca de 41,23%), indicando que grande parte do aporte hídrico ao cultivo de grãos no Estado do Ceará é feita de forma mecanizada, ou seja, com irrigação. A participação da água cinza, o volume de água limpa necessária para diluir a água poluída, é de 0,07%.

Um ponto importante é que a área em estudo possui clima semiárido, caracterizado pela escassez e irregularidades de chuvas. Nesta seara, a PH da água azul torna-se maior ao lidar-se com um Estado com baixo índice de chuvas.

Observando cada tipo de grão, na produção de arroz, a principal componente da pegada é a água azul, com valor máximo em 2012 de 1723,83 m³/kg, ano, neste cultivo; o uso da água azul chega a 66,92%, o que faz sentido quando se relaciona a cultura do arroz, que é uma das mais exigentes em termos de recursos hídricos, necessitando da captação e distribuição de água em seu plantio.

No que concerne à produção de feijão no Estado, nota-se maior uso da água azul (aproximadamente 56,19%), seguida da água verde (cerca de 43,78%). Dentre os três tipos de grãos, o feijão é o que mais consumiu água verde em valores absolutos, indicando que existe um maior aproveitamento das águas pluviais. Nesse sentido, o uso da água verde no plantio de feijão ganha destaque no aporte hídrico da cultura, pois a mesma é vulnerável às condições hídricas do solo, seja a deficiência ou abundância de água durante suas fases de plantio, onde a sub-irrigação e drenagem controlada exercem papéis fundamentais. Valores de água cinza para o feijão são 7,37 e 1,28 vezes superiores à água cinza do arroz e do milho respectivamente, concluindo que as externalidades ambientais na produção de feijão são maiores quanto ao uso da água cinza.

Em relação à produção de milho, constata-se grande uso de água azul (aproximadamente 59,13%), representando 41,15% de toda a água azul dos grãos arroz, feijão e milho, indicando que boa parte da pegada do milho advém de forma não natural, ou seja, irrigação. Assim, é possível que o excesso de água azul associado à irrigação do milho esteja atrelado a agricultores que temem perder suas safras por conta do déficit hídrico e disponibilizem mais água do que o necessário em sua produção.

E, por fim, ao associar-se água virtual (Tabela 1), os maiores valores de água virtual do feijão e milho ocorrem no ano de 2012, trazendo indicativos de que os recursos hídricos locais podem estar sendo alocados ineficientemente, haja vista os maiores valores encontrados

De posse dos valores das pegadas hídricas dos grãos, obteve-se o volume de água virtual por cultura, o Gráfico 1 expõe a evolução do volume de água virtual da produção de arroz, os valores são negativos, pois se perde água na região.

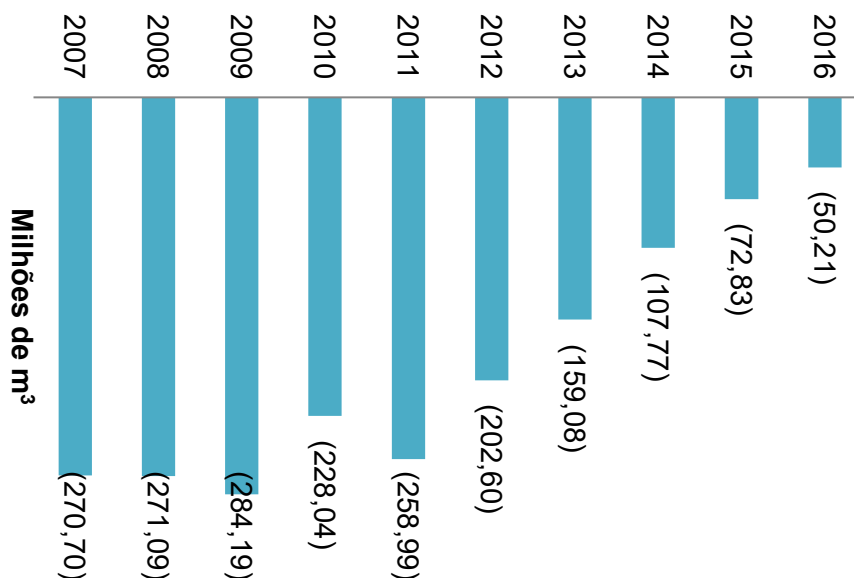


Gráfico 1. Volume de Água virtual associada à produção de arroz - Ceará (2007 a 2016)
Fonte: Autores (2022).

Portanto, o volume de água virtual contabilizada na produção de arroz, no período de 2007 a 2016, foi de aproximadamente 1.905.508,105 milhões de m³ de água. No que diz respeito à variação na quantidade de água virtual perdida para o sistema produtivo do arroz, houve uma redução de 81,45% entre o primeiro e o último período, os valores são negativos, pois se perde água na região devido que se trata do consumo de água utilizado por ano.

Consta abaixo o Gráfico 2 com a evolução do volume de água virtual da produção de feijão.

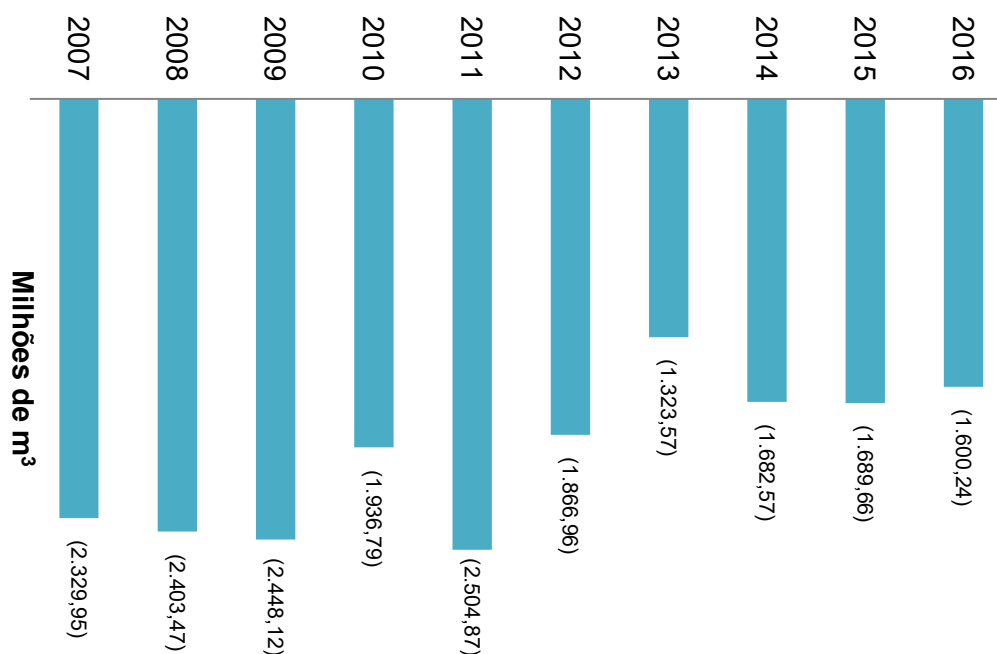


Gráfico 2. Volume de Água virtual associada à produção de feijão - Ceará (2007 a 2016)

Fonte: Autores (2022).

Quanto à água virtual associada à produção de feijão durante o período de 2007 a 2016, foi consumido produtivamente um total de 19.786.190,366 milhões de m³ de água. O decréscimo no valor entre o primeiro e último período foi de 31,31%, com registros de água virtual máxima (2.504.867,736 milhões de m³ de água) e mínima (1.323.570,901 milhões de m³ de água) nos anos de 2011 e 2013 respectivamente, mostrando que mesmo havendo um decréscimo, o consumo teve uma subida dentro desse período.

No Gráfico 3 é apresentada a evolução do volume de água virtual da produção de milho, os valores são negativos, pois se perde água na região.

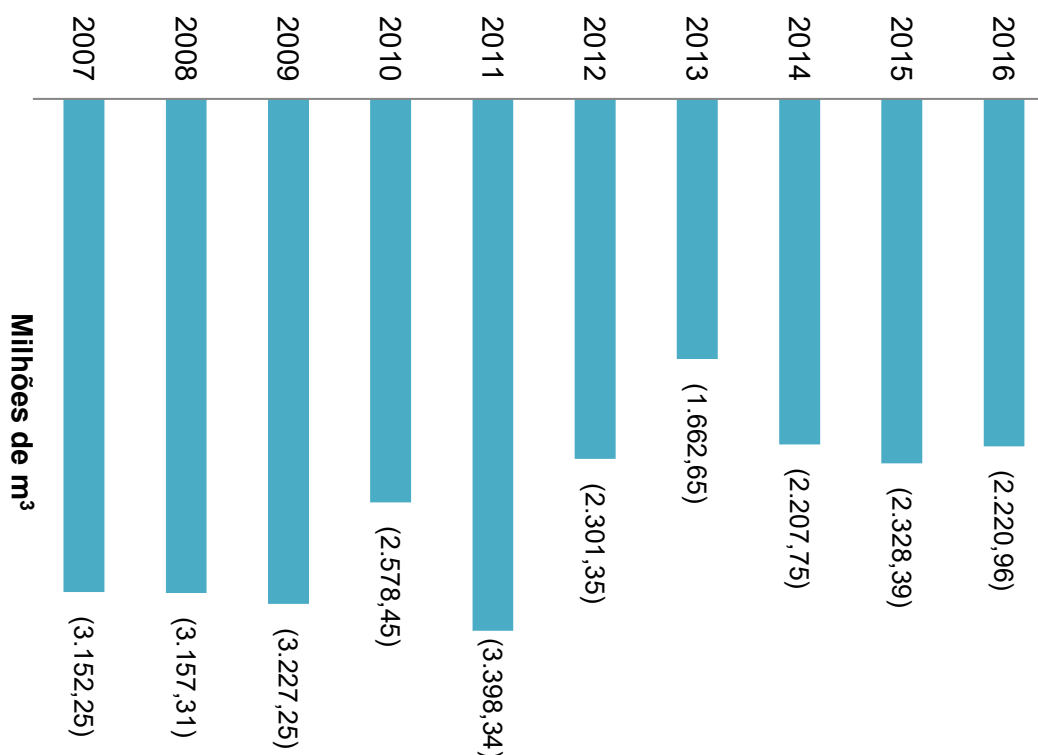


Gráfico 3. Volume de Água virtual associada à produção de milho - Ceará (2007 a 2016)
Fonte: Autores (2022).

Chama-se a atenção o fato de que a cultura do milho teve o maior volume de água virtual vinculada, com 3.998.337,732 milhões de m³ de água consumidos no sistema produtivo. Entre o primeiro e último período da análise, houve variação negativa de 29,54 pontos percentuais, mostrando que houve redução do consumo de água na cultura durante o período.

Dessa forma, foi mostrada uma queda no consumo de água nas três culturas durante os anos de 2007 a 2016, essa queda pode trazer duas inferências, a saber, que houve uma redução no consumo de água e ou então que a produção das culturas reduziu nesse período.

Conjuntamente, o volume total de água consumida pelo Estado do Ceará, no período de 2007 a 2016, por meio do arroz, feijão e milho foi de 47.926.393,176 milhões de m³ de água. A participação na perda em cada cultura está distribuída em 3,97%; 41,28%; e 54,75% respectivamente para arroz, feijão e milho⁷.

Evidencia-se, portanto, elevados valores de água virtual na produção de arroz, feijão e milho no Estado do Ceará durante o período de 2007 a 2016. Cabe enfatizar que além desses grãos o Estado é produtor de amendoim e fava, bem como um dos maiores produtores de frutas frescas do país, o que reflete a importância da participação dessas *commodities* no contexto da economia cearense, consequentemente, justifica-se a importância de estudos da natureza do que

⁷ Para efeito de curiosidade, o volume obtido equivale a cerca de 19.171 piscinas olímpicas cheias; uma piscina olímpica com profundidade mínima de 2 metros possui a capacidade de 2.500 m³ de água (FINA, 2016).

ora se apresenta, haja vista que podem fornecer o mínimo de informação acerca do consumo de recursos hídricos por parte das atividades agrícolas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Antes de um recurso escasso, a água é um bem comum essencial à vida em todas as suas expressões e, quando se trata da vida humana, sua centralidade independe, inclusive, da forma de organização social da produção, pois, a despeito de se tratar de circulação de mercadorias, troca simples destas ou de qualquer outra forma de se organizar a reprodução social, é simplesmente impossível viver sem água. Água é condição *sine qua non* da vida.

Evidentemente, no que toca às pessoas que habitam regiões de climas mais secos, como o semiárido brasileiro, a busca por maior eficiência em seu manejo cobra e ganha importância especial, afinal, o seu consumo sustentável pode significar a própria possibilidade de desenvolvimento da formação social naqueles espaços. E é justamente isso que nos faz perceber o cálculo da pegada hídrica como um instrumento revestido de grande centralidade analítica, haja vista sua capacidade de fornecer informações que, se bem aproveitadas, podem auxiliar decisivamente no alcance de técnicas produtivas mais sustentáveis. Com esse pano de fundo, o objetivo principal do estudo foi o de jogar luz sobre a água virtual pegada hídrica, isto é, o volume de água associado à produção de arroz, feijão e milho no Estado do Ceará entre os anos de 2007 e 2016.

Pôde-se observar que a pegada hídrica das três culturas apresentou queda no período analisado, conquanto a de arroz (81,45%) tenha sido bastante pronunciada quando contrastada ao verificado para o feijão (31,31%) e para o milho (29,54%), trazendo as sugestões de que a queda no consumo produtivo de água poderia ser explicada pelo racionamento de água nesse período, por uma técnica produtiva mais eficiente ou no decréscimo na quantidade produzida dos grãos em questão, em vez da introdução de alguma técnica produtiva mais eficiente ou, por assim dizer, mais “poupadora de água”.

De todo modo, a ferramenta pegada hídrica foi fundamental para aumentar a compreensão a respeito de qual tipo de água é mais representativo na produção de cada um dos grãos no recorte espaço-temporal analisado. Evidenciou-se que, nas três culturas, a pegada da água azul foi sempre maior (destaque para cultura do feijão e milho); o que já era esperado por se tratar de uma região em déficit hídrico, isto é, com baixa precipitação pluviométrica, logo, que requer uso extensivo de irrigação mecanizada, absorvendo água de rios, lagos e açudes para viabilizar a produção.

No que concerne à água verde, destaca-se a produção de feijão, que faz bom uso do sistema de chuvas em seu processo produtivo. Quanto à água cinza, as maiores pegadas foram observadas nas culturas do feijão e milho, com indícios de que as externalidades ambientais negativas oriundas da diluição de água poluída sejam maiores por parte destes cultivos. Ou seja, de que as culturas de feijão e de milho estão mais propensas a causar maiores contaminações ao ambiente natural, logo, de que é preciso atenção um tanto mais cuidadosa no que se refere ao tratamento dos efluentes para estas culturas.

Por fim, talvez convenha lembrar que se tratam ainda de resultados incipientes de um projeto de pesquisa que está muito distante de esgotar a discussão em torno de um tema de tamanha monta, mas, com sorte, em alguma medida contribuir para o debate crítico em âmbito do campo de pesquisa que estuda a interdependência e a coevolução dos sistemas econômicos com os ecossistemas. Campo este que nos soa cada vez mais relevante ante aos exemplos de degradação - e mesmo tragédias - ecossistêmicas, que despontam recorrentemente nos dias atuais nas mais diversas regiões do planeta, mas sobretudo naquelas marcadas por padrões de reprodução do capital assentados na exploração intensiva da natureza.

REFERÊNCIAS

ALLAN, J. A. Virtual water: a strategic resource solutions to regional deficits. **Ground Water**, v. 36, n. 4, p. 545-546, 1998. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-6584.1998.tb02825.x>

ALLAN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. **Irrigation and Drainage Paper**, n. 56. Rome: FAO, 1998.

BASSI, C. M. Água virtual e o complexo soja: contabilizando as exportações brasileiras em termos de recursos naturais. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA**, Brasília, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/6267>. Acesso em: 20 out. 2022.

BELTRÁN, M. J.; VELÁZQUEZ, E. La ecología política del agua virtual y huella hídrica: Reflexiones sobre la necesidad de un análisis crítico de los indicadores de flujos virtuales de agua en la economía. **Revista de Economía Crítica**, n. 20, 2015. Disponível em: <https://revistaeconomicacritica.org/index.php/rec/article/view/85/66>. Acesso em: 20 out. 2022.

BLENINGER, T.; KOTSUKA, L. K. Conceitos de água virtual e pegada hídrica: estudo de caso da soja e óleo de soja no Brasil. **Recursos Hídricos**. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, v. 36, n. 01, 2015. Disponível em: https://www.aprh.pt/rh/pdf/rh36_n1-2.pdf. Acesso em: 20 out. 2022.

BOSIRE, C. K. *et al.* Trends and spatial variation in water and land foot prints of meat and milk production systems in Kenya. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 205, p. 36-47, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.02.015>

CONNOR, R.; UHLENBROOK, S.; KONCAGUL, E. **Relatório mundial das Nações Unidas sobre desenvolvimento dos recursos hídricos 2019: não deixar ninguém para trás**. UNESCO, 2019. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367303_por. Acesso em: 20 out. 2022.

DALY, H. E. Toward some operational principles of sustainable development. **Ecological Economics**, v. 2, p. 1-6, 1990. DOI: [https://doi.org/10.1016/0921-8009\(90\)90010-R](https://doi.org/10.1016/0921-8009(90)90010-R)

ERCIN, A. E.; MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. Sustainability of national consumption from a water resources perspective: the case study for France. **Ecological Economics**, v. 88, p. 133-147, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.01.015>

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Disponível em: <https://www.fao.org/aquastat/en/>. Acesso em: 20 out. 2022.

FINA. FÉDÉRATION INTERNATIONALE DE NATATION. **FINA facilities rules**. Part IX. 2015-2017. 2016. Disponível em: <http://www.fina.org>. Acesso em: 20 out. 2022.

FRANKIE, N. A.; BOYACIOGLU, H.; HOEKSTRA, A. Y. Grey water footprint accounting: Tier 1 supporting guidelines. **Value of Water Research Report Series n° 65**. UNESCO-IHE Institute for Water Education, 2013. Disponível em: https://waterfootprint.org/media/downloads/Report65-GreyWaterFootprint-Guidelines_1.pdf. Acesso em: 20 out. 2022.

GELAIN, J. G.; ISTAKE, M. Exportação líquida de água virtual brasileira e estadual. **Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos (RBERU)**, v. 09, n. 2, p. 150-168, 2015. Disponível em: <https://www.revistaaber.org.br/rberu/article/view/101>. Acesso em: 20 out. 2022.

GONZALEZ, M. H. G.; JEZIORNY, D. L. Tempo e Sistemas Complexos: Adaptação, parasitismo e sustentabilidade. **XII Encontro Nacional da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica**, v. 1, p. 1-3, Uberlândia, MG, Brasil, 2017.

HOEKSTRA, A. Y. Human appropriation of natural capital: A comparison of ecological footprint and water footprint analysis. **Ecological Economics**, v. 68, n. 7, p. 1963-1974, maio 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.06.021>

HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K.; ALADAYA, M. M.; MEKONNEM, M. M. **The Water Footprint Assessment Manual - Setting the Global Standard**. London, Earthscan, 2011. Disponível em: https://waterfootprint.org/media/downloads/TheWaterFootprintAssessmentManual_2.pdf. Acesso em: 20 out. 2022.

MARACAJÁ, Kettrin Farias Bem *et al.* Pegada Hídrica como Indicador de Sustentabilidade Ambiental. **Reunir**, Campo Grande, v. 2, n. 2, p. 113-125, 07 ago. 2012. DOI: <https://doi.org/10.18696/reunir.v2i2.75>

RENAULT, D. Value of Virtual Water for Food: Principles and features. **Proceedings Expert meeting on Virtual Water**, Delft, December 2002. Disponível em: <https://www.fao.org/3/ap527e/ap527e.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.

ROMEIRO, A. R. Desenvolvimento Sustentável: uma perspectiva econômico-ecológica. **Estudos Avançados**. v. 16, n. 74, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142012000100006>