

EXPORTAÇÃO DE ÁGUA VIRTUAL: A PEGADA HÍDRICA NO AGRONEGÓCIO DO MAMÃO PRODUZIDO NO CEARÁ

Sérgio Rodrigues Rocha¹

Paulo Henrique Girão Duarte²

José Nilson Bezerra Campos³

Ticiania Marinho de Carvalho Studart⁴

RESUMO: Água virtual é o volume de recursos hídricos usado, direta e indiretamente, para a produção de mercadorias e serviços. Os altos consumos de água nas atividades agrícolas acarretam a necessidade de estimar as demandas desse recurso natural, com o fim de instituir medidas adequadas para seu manejo. A pegada hídrica (PH) é um indicador multidimensional que avalia a utilização da água doce. A PH não se refere somente à utilização direta de recursos hídricos, por um produtor ou consumidor, mas, igualmente, ao uso indireto. Este estudo quantifica e compara as PHs verde, azul, cinza e total da produção de mamão, considerando-se os 22 mais importantes municípios produtores no Ceará, de 1974 a 2016. Foram examinadas as variações no espaço geográfico cearense e características estruturais das PHs. A PH total do mamão apresenta média anual de 535,63 m³/t. A PH total foi menor no município de Aracati e maior em Tianguá. As PHs verde, azul e cinza representam, respectivamente, 17,02%, 77,06% e 5,92% da PH Total. O Ceará exportou 328,47 x 10⁶ m³ de água virtual, embutida na cadeia produtiva do mamão, de 1997 a 2016. A análise dos arranjos espaciais dos componentes das PHs pode auxiliar na escolha, no processo de tomada de decisão, da melhor alocação da produção de mamão entre os municípios. O entendimento dos processos de trocas com águas virtuais pode aprimorar políticas públicas para a gestão de águas no Semiárido.

PALAVRAS-CHAVE: Ceará; Consumo de água do mamão; Exportação de água; Pegada hídrica.

¹ Doutorando em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza (CE), Brasil.
E-mail: srocha90@hotmail.com

² Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza (CE), Brasil.

³ Doutor em Engenharia Civil. Professor do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA) da Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza (CE), Brasil.

⁴ Doutora em Engenharia Civil. Professora do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA) da Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza (CE), Brasil.

EXPORTING VIRTUAL WATER: WATER FOOTPRINT IN AGRIBUSINESS OF THE PAPAYA PRODUCED IN CEARÁ, BRAZIL

ABSTRACT: Virtual water is the volume of hydric resources directly and indirectly used for manufacturing and services. High water consumption in agricultural activities brings about the need to estimate demands to construct adequate measurements for management. Water footprint (WF) is a multidimensional index that evaluates the use of drinking water. It does not refer merely to the direct use of hydric resources by a producer or consumer, but also to indirect usage. Current analysis quantifies and compares green, blue, grey and total WF in the production of papaya in the 22 most important municipalities in the state of Ceará, between 1974 and 2016. Variations in geographic space in Ceará and in structural characteristics of WF were analyzed. Total WF of papaya provides a yearly average of 535.63 m³/t. Total FW was lowest in the municipality of Aracati and greatest in Tianguá. Green, blue and grey FW represent respectively 17.02%, 77.06% and 5.92% of total FW. The state of Ceará exported 328.47 x 10⁶ m³ of virtual water within the papaya production chain between 1997 and 2016. Analyses of spatial arrangements of FW components may be a help in the choice, in decision-taking and the best sites of papaya production among the municipalities. Understanding exchange processes with virtual water may improve public policies for the management of water in the semi-arid region.

KEY WORDS: Ceará; Consumption of papaya water; Water export; Water footprint.

INTRODUÇÃO

A necessidade de água para produção de alimentos - com a finalidade de abastecer as populações humanas rural e urbana e de animais - cresce sem interrupções ao longo dos últimos anos (HOEKSTRA, 2017). Em termos globais, os setores agrícola, industrial e urbano são responsáveis por, respectivamente, 70%, 20% e 10% da quantidade consumida de recursos hídricos (UNESCO, 2015). A escassez de água deve se tornar maior nas próximas décadas, em decorrência do crescimento da economia, da ampliação populacional e das mudanças climáticas. Como consequência, deve-se buscar uma melhor eficiência no uso da água doce nas atividades agrícolas, que respondem pelo maior consumo desse bem natural (HOEKSTRA *et al.*, 2011).

A metodologia da pegada hídrica (PH) surgiu em 2002 com o intuito de estimar as transferências de águas virtuais que se encontram ocultas nas atividades de produção de bens e serviços comercializados entre os países (HOEKSTRA; HUNG, 2002). A utilização da água pode ocorrer de duas maneiras: a direta, quando o indivíduo percebe que está consumindo a água, como nos casos da lavagem de louças e higiene pessoal; a indireta, que acontece, por exemplo, pela aquisição de bens e serviços que utilizaram água em seus processos produtivos. Um ponto importante a ser destacado é que se deve ter atenção especial com o consumo indireto de água, dado que o gasto de recursos hídricos acontece, normalmente, sem o conhecimento pleno do consumidor. A PH permite especificar a quantidade de uso, seja direto ou indireto, de água na agricultura e em outros bens e serviços.

Três componentes representam a PH total: a PH verde diz respeito ao volume consumido de água pluvial. Esse consumo está associado ao sistema de águas fixas, no qual parte das chuvas é retida nas camadas superiores dos solos, sob a forma de umidade. Nesse sistema, as águas só podem ser consumidas no local onde se deu a precipitação, por sucção do sistema radicular das culturas (CAMPOS; STUDART, 2008); a PH azul se dá no denominado sistema de águas móveis, que abrange os rios, os reservatórios, lagos e os aquíferos nos quais as águas escoam ou são armazenadas; estas águas são aplicadas nas culturas sob a forma de irrigação (CAMPOS; STUDART, 2008); e a PH cinza é mensurada pelo volume de água usado para assimilar a carga de poluição gerada no processo de produção, obedecendo-se a padrões de qualidade da água. A PH é um indicador multidimensional que calcula o volume de água por tipos de utilização e por fontes, bem como indica os locais e instantes de uso de recursos hídricos (HOEKSTRA *et al.*, 2011).

O Brasil é um dos maiores produtores e exportadores mundiais de mamão, vendendo aos mercados dos Estados Unidos e da Europa (EMBRAPA, 2018). Os maiores exportadores brasileiros são, nesta ordem, Espírito Santo, Bahia, Rio Grande do Norte, Paraíba, São Paulo e Ceará, com 99,7% do total exportado entre 1997 e 2016.

O mamão produzido no Ceará (*Carica papaya L.*) é responsável por considerável geração de emprego e renda no Estado (EMBRAPA, 2018), sendo também um importante produto da pauta exportadora cearense (IBGE, 2018;

IPECE, 2018; MDIC, 2018). O mamoeiro é uma cultura do tipo precoce, que tem seu florescimento e sua frutificação no período de três a quatro meses depois de sua plantação. Em termos comerciais, sua exploração prolonga-se até o terceiro ano após a plantação, quando atinge uma altura considerável, que dificulta a colheita, com diminuição da produtividade e da qualidade do fruto. O processo de produção da lavoura do mamão é do tipo permanente (EMBRAPA, 2018). O mamoeiro demanda muita água durante seus períodos de crescimento e de produção, sendo obrigatória a irrigação da planta em caso de sua produção em locais com deficiência hídrica intensa ou com má distribuição de precipitações, como é o caso do Estado do Ceará. As baixas pluviosidades, e as suas irregularidades espaciais e temporais que caracterizam o Semiárido brasileiro, constituem entraves aos processos produtivos agrícolas nessa área (CAMPELO *et al.*, 2014).

Este estudo avalia as PHs do mamão em 22 municípios produtores (e exportadores) no Estado do Ceará, no período de 1974 a 2016. Foram estimadas as PHs verde, azul, cinza e total com o objetivo de identificar os elementos que tiveram participação para a produção e comparar estes resultados com resultados internacionais. A agricultura faz uso de muita água, sendo indispensável uma visão estratégica da governança de recursos hídricos, de tal modo que se mantenha, ou aumente, o rendimento da cultura sem que, para isso, seja afetada a sustentabilidade dos sistemas hídricos (OLIVEIRA *et al.*, 2016). O melhor entendimento das trocas em águas virtuais permite reduzir as pressões no uso de água doce sem comprometer os lucros do agronegócio e o desenvolvimento sustentável (FANDIKA *et al.*, 2019).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

O Estado do Ceará tem uma extensão territorial de 148.887,633 km², o que equivale a 9,6% da superfície da Região Nordeste e a 1,7% da área brasileira. O clima tropical quente do tipo semiárido domina 68% da extensão territorial do Ceará, que apresenta os dias mais aquecidos entre outubro e fevereiro. Os dias menos quentes ocorrem nos meses de junho e julho. As temperaturas médias oscilam

entre 20 °C, na zona serrana, e 28 °C, no interior do Estado. O Ceará apresenta 93% de sua área dentro do semiárido brasileiro, caracterizado por altas taxas de evaporação. As precipitações principiam no mês de janeiro e podem terminar em julho. Os meses mais chuvosos são, geralmente, março e abril. A precipitação anual está compreendida entre 500 e 800 mm (FUNCEME, 2018) (Figura 1).



Figura 1. Tipos climáticos nos municípios cearenses.
Fonte: FUNCEME (2018).

Os volumes de recursos hídricos provenientes de fontes superficiais ou subterrâneas são, no território cearense, insuficientes para satisfação dos diferentes usos da água; bem como apresentam níveis insatisfatórios de qualidade. Por conseguinte, a escassez de água é um dos maiores impedimentos à ocupação humana do território cearense e, também, ao suprimento de recursos hídricos para as atividades agrícolas. A caatinga é a vegetação predominante do Semiárido brasileiro, com pequenas árvores e arbustos, na maior parte dos casos com espinhos, que perdem suas folhas na estação da seca - cobre o espaço de 46% do Ceará (FUNCEME, 2018; IPECE, 2018).

As rochas cristalinas dominam cerca de 85% da área do Ceará (FUNCEME, 2018; IPECE, 2018). Como consequência de suas características morfológicas,

químicas e físicas, seus solos apresentam, na maior parte das vezes, pequena solidez ou estabilidade estrutural, pois têm deficiência de água, pouca distância da superfície ao fundo, pedregulhos em profusão e tendência ao processo erosivo (EMBRAPA, 2018).

2.2 DADOS DA PRODUÇÃO DE EXPORTAÇÃO DO MAMÃO

Dos 184 municípios cearenses, 124 plantaram o mamoeiro. Destes, foram escolhidos, como objetos de pesquisa deste estudo, os 22 municípios que atingiram, no mínimo, 1% da produção total do Ceará, de 1.632.672 toneladas de mamão, de 1974 a 2016. Tais localidades, que colheram 76,5% do total da produção de mamão, são, em ordem decrescente de toneladas produzidas: Varjota, Quixeré, Tianguá, Paraipaba, Maranguape, Icapuí, Aracati, Limoeiro do Norte, São Benedito, Ubajara, Ipu, Viçosa do Ceará, Reriutaba, Ipueiras, Ibiapina, Pacatuba, Guaraciaba do Norte, Pereiro, Acaraú, Frecheirinha, Guaiúba e Carnaubal (IBGE, 2018).

As diferenças constatadas entre os 22 municípios escolhidos provocaram forte preponderância sobre as médias quadrimestrais dos coeficientes de cultivo do mamão, em seus respectivos territórios (Tabela 1) ao longo do período de desenvolvimento da cultura que foi considerado idêntico para os 22 municípios.

Tabela 1. Médias anuais dos coeficientes de cultivo (K_c) do desenvolvimento da cultura do mamão, nas suas relações com o clima, em 22 municípios do Ceará (1974-2016)

(Continua)

Município	Coeficiente de cultivo (K_c)		
	Do 1º ao 4º mês	Do 5º ao 8º mês	Do 9º ao 12º mês
Acaraú	0,58	0,56	0,68
Aracati	0,64	0,56	0,70
Carnaubal	0,58	0,56	0,67
Frecheirinha	0,58	0,57	0,70
Guaiúba	0,58	0,57	0,69
Guaraciaba do Norte	0,59	0,57	0,70
Ibiapina	0,68	0,52	0,73
Icapuí	0,62	0,49	0,70

(Conclusão)

Município	Coeficiente de cultivo (K _c)		
	Do 1º ao 4º mês	Do 5º ao 8º mês	Do 9º ao 12º mês
Ipu	0,61	0,50	0,71
Ipueiras	0,63	0,57	0,73
Limoeiro do Norte	0,64	0,53	0,73
Maranguape	0,67	0,52	0,71
Pacatuba	0,58	0,57	0,70
Paraipaba	0,59	0,67	0,78
Pereiro	0,58	0,56	0,70
Quixeré	0,58	0,64	0,78
Reriutaba	0,68	0,57	0,73
São Benedito	0,64	0,51	0,73
Tianguá	0,53	0,69	0,81
Ubajara	0,64	0,50	0,70
Varjota	0,50	0,60	0,70
Viçosa do Ceará	0,60	0,57	0,71

Fonte: EMBRAPA (2018).

2.3 O CLIMA

A classificação do clima de cada município, segundo o Índice de Aridez (IA), foi feita de acordo com as diretrizes do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) (FUNCEME, 2018). A evapotranspiração anual varia de 1.583,9 mm, em Guaiúba, a 2.005,5 mm em Quixeré. A precipitação média varia de 610,7 em Carnaubal a 1.656,6 mm em Ibiapina. O IA varia de 31,7%, em Carnaubal, a 89,4% em Ibiapina (Tabela 2).

Tabela 2. Classificação climática e Índice de Aridez de municípios do Ceará (2018)

Município	Precipitação	Evapotranspiração de	Índice de Aridez	Classificação climática
	anual média	referência anual média		
	(mm)	(mm)	(IA = Pr/ET _o x 100)	
	(Pr)	(ET _o)		
Acaraú	1.133,3	1.720,2	65,9	Subúmido seco
Aracati	933,8	1.827,9	51,1	Subúmido seco
Carnaubal	610,7	1.924,0	31,7	Semiárido
Frecheirinha	957,4	1.860,0	51,5	Subúmido seco
Guaiúba	1.013,7	1.583,9	64,0	Subúmido seco
Guaraciaba do Norte	1.248,0	1.851,7	67,4	Subúmido úmido
Ibiapina	1.656,6	1.853,8	89,4	Subúmido úmido
Icapuí	945,0	1.827,9	51,7	Subúmido seco
Ipu	995,1	1.989,4	50,0	Subúmido seco
Ipueiras	930,7	1.927,9	48,3	Semiárido
Limoeiro do Norte	752,4	1.920,2	39,2	Semiárido
Maranguape	1.168,6	1.605,3	72,8	Subúmido úmido
Pacatuba	1.233,5	1.596,3	77,3	Subúmido úmido
Paraipaba	1.189,6	1.609,5	73,9	Subúmido úmido
Pereiro	957,7	1.925,3	49,7	Semiárido
Quixeré	732,1	2.005,5	36,5	Semiárido
Reriutaba	930,6	1.851,6	50,3	Subúmido seco
São Benedito	1.351,4	1.852,3	73,0	Subúmido úmido
Tianguá	1.259,2	1.849,3	68,1	Subúmido úmido
Ubajara	1.496,3	1.852,9	80,8	Subúmido úmido
Varjota	878,1	1.846,5	47,6	Semiárido
Viçosa do Ceará	1.492,8	1.841,6	81,1	Subúmido úmido

Fonte: FUNCEME (2018).

Para o período de 1974 a 2016, foram extraídas informações municipais relativas a elementos agrícolas e climáticos. Os dados anuais, relativos à agricultura - toneladas colhidas, produtividade da cultura, taxa de uso de fertilizantes, superfície de campo semeado e padrão qualitativo de recursos hídricos - foram coletados

no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE), na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária e na Agência de Proteção Ambiental (EMBRAPA). Os dados inerentes ao clima - umidade relativa, mínima e máxima de temperatura, velocidade do ar, horário de exposição solar e quantidade precipitada - foram obtidos na Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME). Portanto, as informações são oriundas de instituições governamentais, que fazem a coleta, tratamento, armazenamento e divulgação dos dados.

2.4 Metodologia de estimação da PH

A determinação da necessidade de água da cultura do mamão foi realizada com a aplicação do programa computacional *Cropwat 8.0*, que tem por base científica a metodologia desenvolvida por Penman-Monteith (FAO, 2018). A Evapotranspiração de Referência (ET₀) faz a estimativa da utilização de recursos hídricos pela perda de água da planta, por meio da transpiração e da evaporação do solo (Equação 1).

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)} \quad (1)$$

onde ET₀: evapotranspiração de referência (mm.dia⁻¹); Δ: declividade da curva de pressão de vapor com relação à temperatura (kPa.°C⁻¹); R_n: resultado do balanço de radiação solar (MJ.m⁻².dia⁻¹); G: fluxo de calor no solo (MJ.m⁻².dia⁻¹); γ: valor da constante do psicômetro (kPa.°C⁻¹); T: temperatura média do ar (°C); U₂: velocidade registrada do vento a 2 m de altura (m.s⁻¹); e_s: pressão de saturação do vapor (kPa); e_a: pressão do vapor (kPa).

A evapotranspiração da cultura, que corresponde ao uso de água realizado por uma determinada planta, é determinada com o emprego da Equação 2:

$$ET_c = K_c \times ET_0 \quad (2)$$

onde ET_c: evapotranspiração da cultura (mm.dia⁻¹); K_c: coeficiente da cultura (sem dimensão); e ET₀: evapotranspiração de referência (mm.dia⁻¹).

A exigência de água durante o período de crescimento e desenvolvimento da cultura engloba os consumos das águas azul e verde. Segundo Hoekstra *et al.* (2011), o componente da PH verde, referente à evapotranspiração, é igual ao valor

mínimo obtido por intermédio da comparação dos valores da evapotranspiração total da cultura e da quantidade de precipitação efetiva (Equação 3).

$$ET_{\text{verde}} = \text{mín}(ET_c, PE) \quad (3)$$

onde ET_{verde} : evapotranspiração verde (mm.dia⁻¹); mín: indicativo do valor mínimo; ET_c : evapotranspiração total da planta (mm.dia⁻¹); e PE: precipitação efetiva (mm.dia⁻¹).

A PH verde de uma cultura específica pode ser estimada por meio da Equação 4 (HOEKSTRA *et al.*, 2011).

$$PH_{\text{verde}} = \frac{10 \times \sum_{d=1}^{\text{tpc}} ET_{\text{verde}}}{PC} \quad (4)$$

onde PH_{verde} : PH verde (m³.t⁻¹); 10: número adimensional usado para transformar a profundidade de água (mm) para volume de recursos hídricos por superfície (m³.ha⁻¹); ET_{verde} : parcela de evapotranspiração suprida com o consumo de água verde (mm.dia⁻¹); \sum : somatório da ET_{verde} , da data do plantio até a colheita (dia); d=1: dia inicial do plantio; tpc: tempo do período de crescimento (dia); e PC: rendimento, ou produtividade, da cultura (t.ha⁻¹).

A evapotranspiração correspondente à PH azul, decorrente da irrigação, é, de acordo com Hoekstra *et al.* (2011), estimado pela Equação 5:

$$ET_{\text{azul}} = \text{máx}(0, ET_c - PE) \quad (5)$$

onde ET_{azul} : evapotranspiração do tipo azul (mm.dia⁻¹); máx: indicativo do valor máximo; ET_c : evapotranspiração global da cultura (mm.dia⁻¹); e PE: precipitação efetiva (mm.dia⁻¹).

Para o cálculo da PH cinza, pode ser considerado o poluente que apresenta a carga mais crítica no fluxo de efluentes (HOEKSTRA *et al.*, 2011). O potássio é o nutriente mais importante para o mamoeiro, sendo necessário de modo constante e de forma crescente ao longo do ciclo de desenvolvimento da planta (EMBRAPA, 2018). O fator de lixiviação é de 10% (HOEKSTRA *et al.*, 2011). Foram adotadas as concentrações químicas máxima e natural de, na devida ordem, 10 mg/l e nula

(EPA, 2018). O cálculo da PH cinza foi levado a efeito com a aplicação da Equação 6 (HOEKSTRA *et al.*, 2011).

$$PH_{\text{cinza}} = \frac{FL \times TA}{\frac{CQ_{\text{máxima}} - CQ_{\text{natural}}}{PC}} \quad (6)$$

onde PH_{cinza} : PH cinza ($\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$); FL: fração de lixiviação (número adimensional); TA: taxa de consumo de fertilizantes ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$); $CQ_{\text{máxima}}$: concentração química máxima admissível no corpo d'água ($\text{kg} \cdot \text{litro}^{-1}$); CQ_{natural} : concentração química natural na coleção d'água ($\text{kg} \cdot \text{litro}^{-1}$); e PC: produtividade ou rendimento da cultura ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$).

Finalmente, a PH total de uma cultura é, segundo Hoekstra *et al.* (2011), obtida pelo somatório dos três elementos: verde, azul e cinza (Equação 7).

$$PH_{\text{total}} = PH_{\text{verde}} + PH_{\text{azul}} + PH_{\text{cinza}} \quad (7)$$

onde PH_{total} : PH total ($\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$); PH_{verde} : PH verde ($\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$); PH_{azul} : PH azul ($\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$); PH_{cinza} : PH cinza ($\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$).

O volume da PH de um produto é, conforme obtido por intermédio da multiplicação da quantidade produzida, ou exportada, pelo padrão de consumo da PH (HOEKSTRA *et al.*, 2011) (Equação 8).

$$PH_{\text{volume}} = Q \times PH \quad (8)$$

Onde PH_{volume} : volume da PH (m^3); Q: quantidade produzida ou exportada (t); e PH: padrão da PH verde, azul, cinza ou total ($\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 O CONTEXTO EM PESQUISAS EM ÁGUA VIRTUAL

Lovarelli, Bacenetti e Fiala (2016) estudaram 96 pesquisas, publicadas na literatura científica de 2002 a 2015, que tiveram como objeto de estudo a PH das plantações. Segundo esses pesquisadores, a quantidade de trabalhos inerentes a

PHs de produções agrícolas tem se desenvolvido bastante nos anos mais recentes. Por exemplo, Ortiz-Rodriguez *et al.* (2015) calcularam a PH da produção de cacau colombiano em 17.100 m³/t. Em nível de província, o maior registro da PH foi verificado em Tolima, com 23.239 m³/t, enquanto Huila apresentou o menor, com 13.475 m³/t. Eles afirmam que a utilização de água, por unidade de cultura, pode ser influenciada não somente pelas condições agrícolas e meteorológicas, mas também pelo nível alcançado de produção. Novoa *et al.* (2016) estudaram a variabilidade da PH do cultivo de cereais no Rio Cachapoal (Chile) para três cenários de pluviosidade: ano úmido, ano normal e ano seco. Os autores concluíram que a maior exportação de água virtual ocorreu em um ano chuvoso (14 325 000 m³/t), porém com a mais baixa produtividade financeira da água (92,8 \$/m³).

Fitzgerald e Auerbach (2016) estudaram a PH, modelada com o método dos mínimos quadrados comuns e técnicas de regressão robustas na análise transnacional, de 138 nações. Seus resultados proporcionam suporte parcial à proposição da teoria da troca ecologicamente desigual, pois mostram a relevância da posição estrutural, na economia mundial, para uma boa compreensão dos impactos do comércio internacional sobre os recursos hídricos dos países. Chena *et al.* (2017) concluíram que as transferências de água virtual na China não ocorrem de regiões com recursos hídricos abundantes para aquelas que sofrem de escassez; mas, geralmente, acontecem de Oeste para Leste, do interior para as zonas costeiras e de zonas subdesenvolvidas para as desenvolvidas.

Ainda de acordo com Lovarelli, Bacenetti e Fiala (2016), a maior quantidade desses estudos (78%) aborda a avaliação das PHs das produções agrícolas. A escala de detalhamento é global, nacional ou regional. Os Estados são, na República Federativa do Brasil, divididos em municípios. O cálculo da PH em escala municipal é mais exato, em decorrência de poder estabelecer, no lugar em que acontece, uma relação causal entre a alocação de água e o processo de produção na agricultura. As avaliações mundial, nacionais e regionais são mais abrangentes e não consideram o município individualmente, com suas peculiaridades.

3.2 As variações interanuais das pegadas hídricas

A Tabela 3 apresenta as séries PHs verde, azul, cinza e total para o período de 1974 a 2016. Os coeficientes de variação (CVs) das PHs vão de 0,56 (verde) a 0,38 (cinza). Os valores são compatíveis com os CVs da pluviosidade anual no Ceará que

varia de 0,3 a 0,5 (CAMPOS *et al.*, 2014). O CV da PH verde (0,56) é ligeiramente superior ao limite superior dos padrões de CV no Ceará.

Tabela 3. Médias anuais das PHs verde, azul, cinza e total da produção de mamão em 22 municípios cearenses (1974-2016)

(Continua)

Ano	Pegada Hídrica (m ³ .t ⁻¹)			
	Verde	Azul	Cinza	Total
1974	170,68	470,38	39,43	680,49
1975	169,71	536,07	44,49	750,27
1976	108,49	551,93	41,76	702,18
1977	142,07	484,17	39,75	665,99
1978	104,19	476,71	36,43	617,33
1979	74,11	462,14	32,72	568,97
1980	79,52	464,85	34,00	578,37
1981	68,21	483,37	34,86	586,43
1982	97,47	438,95	33,45	569,87
1983	50,52	486,51	34,28	571,30
1984	101,97	365,20	27,40	494,57
1985	147,88	325,28	31,31	504,47
1986	143,10	464,11	37,48	644,70
1987	109,27	615,49	43,99	768,75
1988	165,85	560,00	44,33	770,17
1989	229,12	631,64	52,22	912,98
1990	154,72	787,21	57,89	999,82
1991	149,55	668,07	50,09	867,72
1992	96,40	600,62	42,17	739,20
1993	76,29	644,83	42,62	763,74
1994	178,39	609,42	49,51	837,32
1995	171,16	628,20	49,85	849,21
1996	100,07	437,39	33,42	570,89
1997	80,46	528,37	38,11	646,94
1998	69,52	489,29	35,03	593,85
1999	78,99	350,10	27,19	456,28

(Conclusão)

Ano	Pegada Hídrica (m ³ .t ⁻¹)			
	Verde	Azul	Cinza	Total
2000	80,52	294,50	24,09	399,11
2001	48,97	295,96	22,73	367,66
2002	60,00	279,36	22,57	361,94
2003	44,58	193,05	15,38	253,00
2004	41,79	197,70	15,86	255,35
2005	32,78	213,46	16,29	262,53
2006	39,62	206,26	16,11	261,98
2007	36,40	206,09	15,87	258,37
2008	44,92	189,43	15,40	249,75
2009	59,23	174,35	15,14	248,72
2010	34,16	238,22	19,45	291,83
2011	50,21	183,81	15,26	249,27
2012	31,42	284,19	20,66	336,26
2013	32,62	207,63	15,82	256,07
2014	39,43	234,60	18,97	292,99
2015	57,04	343,93	27,57	428,54
2016	67,72	446,15	32,89	546,75
Média	91,14	412,77	31,72	535,63
Máximo	229,12	787,21	57,89	999,82
Mínimo	31,42	174,35	15,14	248,72
Desvio Padrão	50,64	164,81	12,13	217,14
Coefficiente de Variação	0,56	0,40	0,38	0,41

Fonte: Preparada pelos autores, a partir de dados da EMBRAPA (2018), FUNCEME (2018), IBGE (2018), IPECE (2018) e EPA (2018).

A média anual da PH total da produção de mamão no Ceará, de 1974 a 2016, foi igual a 535,63 m³.t⁻¹ (17,02% PH verde, 77,06% PH azul e 5,92% PH cinza). Observa-se que mais de $\frac{3}{4}$ do consumo na produção de mamão no Ceará tem origem na irrigação (PH azul). O aproveitamento das águas do sistema de águas fixas (PH verde) é de apenas 17,02%. Tais resultados comprovam que a PH total do mamão produzido no Ceará é muito dependente da irrigação.

Scarpate *et al.* (2015) avaliaram a PH total na produção de cana de açúcar

na região Sudeste e a estimaram em $201 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ (72,1% PH verde, 18,9% PH azul e 9,0% PH cinza). Esses resultados mostram o alto aproveitamento das chuvas na região Sudeste para a produção da cultura de cana-de-açúcar, em contraposição ao baixo aproveitamento das chuvas no Ceará no cultivo de mamão.

Vale destacar que, no Ceará, as disparidades expressivas existentes entre os componentes verde e azul são decorrentes, especialmente, da baixa pluviosidade anual e das variabilidades da distribuição temporal das chuvas, que apresentam maiores volumes em março e abril. Isso justifica, no território cearense, a baixa participação percentual da água verde na PH total do mamão.

Um estudo sobre a produção de manga no Semiárido, no vale do rio São Francisco, foi desenvolvido por Carneiro *et al.* (2018). O PH total médio na produção da manga foi de $13.048,25 \text{ m}^3/\text{ha}\cdot\text{ano}$, o qual é inferior aos $15.435 \text{ m}^3/\text{ha}\cdot\text{ano}$ estimados para essa cultura pelo método recomendado pela FAO (CARNEIRO *et al.*, 2018).

3.3 As variações espaciais das pegadas hídricas

Silva *et al.* (2016) estudaram, em escala de Estado, as trocas do Brasil em termos de água virtual. Seguindo as definições de Hoekstra e Hung (2002), foram estimados o Índice de escassez de água (WSI), o Índice de dependência de água (WDI) e o Índice de autossuficiência de água (WSSI). O WSI médio do Brasil é de 5% enquanto o do Ceará é de 71%, evidenciado a escassez crônica do Estado. O WDI médio do Brasil é de 13% e o do Ceará é de 26%, o dobro da média nacional. Esse indicador evidencia a dependência do Estado, em termos de importação de água virtual (SILVA *et al.*, 2016).

Tabela 4. Médias das evapotranspirações verde e azul, da taxa de aplicação de fertilizantes, da produtividade da cultura e das PHs Verde, Azul, Cinza e Total da produção de mamão de 22 municípios do Ceará (1974-2016)

Município	Evapotranspiração (mm)		Taxa de fertilizantes	Produtividade da cultura	Pegada Hídrica (m ³ .t ⁻¹)			
	Verde	Azul	(kg.ha ⁻¹)	(kg.ha ⁻¹)	Verde	Azul	Cinza	Total
Acarauá	191,80	917,96	82	47.470,42	50,13	237,11	19,87	307,11
Aracati	79,77	497,47	62	57.656,67	20,27	114,64	14,49	149,40
Carnaubal	140,87	1.013,40	70	33.591,56	68,17	442,56	30,97	541,70
Frecheirinha	186,56	954,34	68	32.484,37	94,87	507,03	35,88	637,78
Guaiúba	142,26	829,30	65	23.731,09	68,39	414,13	32,28	514,79
Guaraciaba do Norte	220,66	921,00	66	33.144,51	126,06	508,88	36,71	671,66
Ibiapina	276,22	915,39	75	20.763,99	212,88	670,07	55,57	938,53
Icapuí	149,65	952,44	63	77.313,95	19,30	123,47	8,16	150,93
Ipu	179,35	1.026,94	70	38.383,26	62,08	373,43	25,27	460,77
Ipueriras	79,47	461,83	74	36.586,74	30,03	170,89	27,47	228,39
Limoeiro do Norte	156,46	1.059,06	64	43.531,98	58,46	395,28	23,89	477,63
Maranguape	201,96	813,91	62	20.524,51	110,15	444,25	34,20	588,61
Pacatuba	184,67	798,51	80	20.696,00	101,31	438,10	43,88	583,29
Paraipaba	184,74	851,96	63	36.861,21	55,57	253,83	18,76	328,15
Pereiro	155,19	1.019,26	77	52.872,19	36,24	234,62	17,75	288,61
Quixeré	140,33	1.129,31	65	45.821,37	42,47	350,00	20,09	412,56
Reriutaba	190,35	1.031,05	71	38.249,26	72,06	386,06	26,63	484,76
São Benedito	248,86	911,19	67	31.066,63	147,25	546,09	40,04	733,38
Tianguá	227,75	1.025,16	66	24.103,37	188,94	893,47	57,02	1.139,42
Ubajara	263,84	871,76	67	24.979,16	200,59	621,24	48,49	870,32
Varjota	136,94	969,03	87	45.696,00	37,91	268,40	24,10	330,41
Viçosa do Ceará	253,31	900,74	73	25.227,63	202,02	687,33	56,26	945,60
Média aritmética	181,41	903,23	69,86	36.852,54	91,14	412,77	31,72	535,63
Desvio padrão	53,33	161,11	6,90	14.008,81	62,45	195,28	13,89	267,02
Coefficiente de variação	0,29	0,18	0,10	0,38	0,69	0,47	0,44	0,50

Fonte: Preparada pelos autores, a partir de dados da EMBRAPA (2018), FUNCEME (2018), IBGE (2018), IPECE (2018) e EPA (2018).

Observa-se que há discrepâncias significativas entre os componentes das PHs municipais. A maior e a menor dispersão de valores são, respectivamente, das PHs verde e cinza. Enquanto as PHs total e azul apresentam variabilidades intermediárias. Aracati, que tem a segunda maior produtividade da cultura do mamão, exibe a menor PH total. Icapuí, que apresenta a segunda menor taxa de aplicação de fertilizantes, tem a menor PH cinza (Tabela 4).

Considerando-se a distribuição espacial no território do Ceará, os resultados mostram que existem diferenças acentuadas entre os PHs na produção de melão nos municípios (Figuras 2 e 3). Isso ocorre em decorrência de diferenças verificadas entre os municípios, no que diz respeito às condições locais de: pluviosidade, valores dos rendimentos e dos coeficientes de cultivo do mamão, tipos de solos e taxas de consumo de fertilizantes, pesticidas e inseticidas. Além disso, no lugar em que ocorre, a PH de uma cultura proporciona meios para avaliação da produtividade e da efetividade de uso dos recursos hídricos. Por exemplo, quanto mais elevada for a quantidade de toneladas produzidas por hectare, da cultura do mamão, mais baixo será o valor de sua PH por tonelada produzida. A maior produtividade acontece no município de Icapuí, com 77.313,95 kg/ha. A segunda maior produtividade se dá em Aracati, município vizinho de Icapuí, com 57.656,67 kg/ha. Por outro lado, a menor produtividade acontece em Maranguape com 20.524,51 kg/ha. A relação entre a maior e menor produtividade é de 3,76. Isso significa que ainda há muitas oportunidades e possibilidades de melhorar a produtividade na produção do mamão e, em consequência, reduzir a PH.

Vale ressaltar que as maiores PHs verdes ficaram concentradas no Noroeste do Ceará, no Planalto da Ibiapaba, onde predomina o clima subúmido-úmido onde a pluviosidade média é acima de 1000mm. Por outro lado, as menores PHs ocorreram no Leste do Estado. Do mesmo modo, as mais altas PHs azuis estão concentradas espacialmente no Noroeste; enquanto as menores, no Leste. Espacialmente, as maiores e menores PHs cinzas ficaram, coincidentemente, concentradas em municípios localizados no Noroeste do Ceará. As mais altas PHs totais estão aglomeradas espacialmente no Noroeste; enquanto as menores, no Leste (Figura 2).

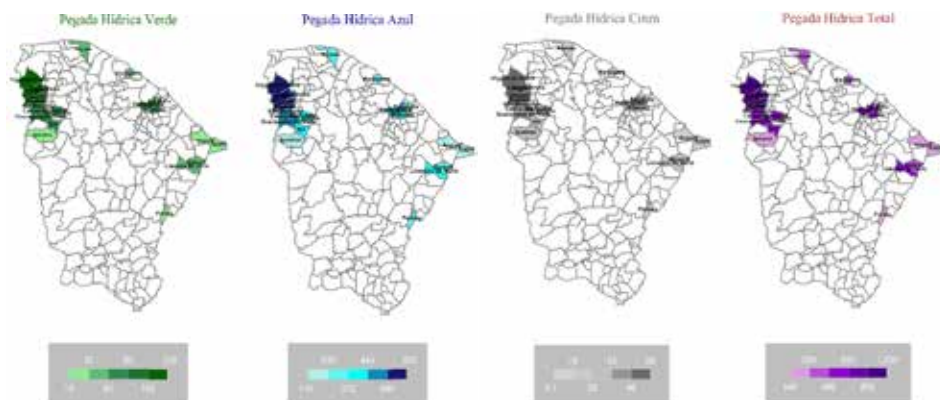


Figura 2. Disposição no espaço territorial cearense das médias anuais das PHs verde, azul, cinza e total em m^3/t , da produção de mamão em 22 municípios (1974-2016)

Fonte: Preparada pelos autores, com base nos dados da EMBRAPA (2018), FUNCEME (2018), IBGE (2018), IPECE (2018) e EPA (2018).

Em geral, nos 43 anos examinados, a variabilidade interanual de cada uma das partes constituintes das PHs da produção de mamão no Ceará, nos 22 municípios, foi expressiva. Em termos de valores absolutos, a PH total oscilou entre $91,39m^3/t$ (Limoeiro do Norte, em 2003) a $3.067,63m^3/t$ (Viçosa do Ceará, em 1991, com uma pluviosidade de $1.238,5mm$ e uma produtividade muito baixa de 3.000 kg/ha). O valor mediano da PH total ficou em $365,34m^3/t$ (Paraipaba, em 1979). O intervalo da PH verde sofreu variação entre $4,65m^3/t$ (Ipueiras, em 1983) e $895,90m^3/t$ (Viçosa do Ceará, em 1989, com uma baixa produtividade de 4.000 kg/ha).

A mediana da PH verde foi de $51,17m^3/t$ (Limoeiro do Norte, em 1987). Verifica-se que a PH verde ocorreu, especialmente, conforme a presença das precipitações. Ademais, os municípios com maiores níveis de chuvas, geralmente, apresentaram PHs verdes mais altas. O limite inferior da PH azul foi de $70,72m^3/t$ (Aracati, em 2009) e o limite superior, $2.397,05m^3/t$ (São Benedito, em 1990, com uma produtividade baixa de 5.000 kg/ha). O valor mediano da PH azul ficou em $287,63m^3/t$ (Ipueiras, em 1997). O modelo de classificação espacial da PH azul foi, em geral, em sentido contrário ao do padrão verificado para a PH verde. O intervalo da PH cinza foi de $4,57m^3/t$ (Limoeiro do Norte, em 1993) a $182,50m^3/t$ (Viçosa do Ceará, em 1990, com uma taxa de aplicação de fertilizantes de $73kg/ha$). A mediana da PH cinza foi igual a $23,39m^3/t$ (Guaraciaba do Norte, em 1997).

De 1997 a 2016, o Ceará exportou 613.247 toneladas de mamão (MDIC, 2018), sendo a média da PH total de 535,63m³/t (Tabela 3). Verifica-se, portanto, que foram enviados ao exterior 328,47 x 10⁶ m³ de água virtual, embutida na cadeia produtiva do mamão.

A PH azul teve a maior participação porcentual na PH total da produção de mamão, no semiárido do Ceará. Em razão disso, o governo e os empresários do agronegócio devem dar apoio à aplicação de capitais em desenvolvimento de técnicas e sistemas de irrigação que possibilitem a manutenção e preservação dos recursos hídricos. A busca por soluções técnicas tem por objetivo reduzir, por unidade de produção da cultura na agricultura irrigada, a PH azul (m³/t), por meio do crescimento da produtividade, ou eficiência, da água do tipo azul (t/m³). Pode-se incentivar a economia de água azul por intermédio da substituição de técnicas antigas por outras mais modernas de aplicação de lâminas e de frequências de irrigação.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O mamão ocupa uma posição de destaque nas exportações do Ceará, estado assolado pelas secas e escassez hídrica. Sendo assim, esta pesquisa faz a estimativa das PHs verde, azul, cinza e total do processo de produção do mamão em 22 municípios maiores produtores no Ceará, de 1974 a 2016.

O mamoeiro é uma cultura de alta demanda hídrica. As diversidades encontradas na distribuição espacial das PHs dos municípios são decorrentes, fundamentalmente, das condições do clima, dos rendimentos da cultura e das taxas de consumo de fertilizantes e pesticidas (inseticidas, fungicidas, herbicidas e outros). Ademais, estas diferenças reforçam a relevância de pesquisas locais sobre opções de mitigação dos impactos da PH, com a finalidade de implementar melhorias na governança da responsabilidade socioambiental na agricultura.

A PH total da produção de mamão no território cearense tem uma média anual de 535,63m³/t. As partes integrantes verde, azul e cinza correspondem a 17,02%, 77,06% e 5,92% da PH total, respectivamente. Observa-se que o processo

produtivo do mamão utiliza, preferencialmente, recursos hídricos subterrâneos ou superficiais. No que concerne à disposição no espaço cearense, os municípios foram classificados da menor para a mais alta PH total da produção de mamão, em m³/t, de 1974 a 2016: Aracati, Icapuí, Ipueiras, Pereiro, Acaraú, Paraipaba, Varjota, Quixeré, Ipu, Limoeiro do Norte, Reriutaba, Guaiúba, Carnaubal, Pacatuba, Maranguape, Frecheirinha, Guaraciaba do Norte, São Benedito, Ubajara, Ibiapina, Viçosa do Ceará e Tianguá.

Dado o valor elevado da PH azul, os tomadores de decisão devem examinar os impactos, nas águas doces escassas do Ceará, da exportação do agronegócio do mamão, já que foram enviados para o exterior, sob a forma da água virtual, 328,47 x 10⁶ m³, ou seja, 40,69% de toda a produção de 1997 a 2016. Essa quantidade de recursos hídricos, que foi consumida na produção do mamão exportado, em um território com escassez hídrica, poderia ter sido destinada, total ou parcialmente, para a mais importante utilização preferencial de recursos de água doce, que é o abastecimento humano.

Os resultados desta pesquisa podem gerar informações para estabelecer comparações com estudos elaborados, no Brasil ou no exterior, sobre a PH do processo produtivo do mamão. A PH total do mamão produzido no Ceará foi 16,44% superior ao da média mundial (460m³/t), calculada por Mekonnen e Hoekstra (2011), para o período de 1996 a 2005. Além disso, mais estudos futuros são indispensáveis para a aquisição de elementos que possam embasar a formulação de planos de mitigação da PH da produção de mamão no Ceará.

Para o cálculo das PHs, esta pesquisa usou a escala de município. Esse método pode auxiliar na elaboração de estratégias para diminuir a PH. Em se considerando o nível municipal, uma composição envolvendo características dos solos, dos procedimentos agrícolas e das disponibilidades de recursos hídricos pode mostrar as singularidades do ordenamento espacial, no Ceará, da PH do processo produtivo do mamão. A partir desse conhecimento, os resultados deste estudo podem fornecer elementos importantes para a formulação de um plano estratégico com o propósito de melhor alocar, entre os municípios, as plantações de mamoeiros. Além disso, um alto valor da PH do processo produtivo do mamão no Ceará - que representa uma condição desfavorável em um estado com escassez hídrica - pode

ser consequência de condições climáticas adversas, da péssima qualidade do solo, de uma baixa produtividade da cultura e de técnicas de irrigação inapropriadas. Portanto, faz-se necessária a elaboração de um plano de distribuição das áreas de plantio do mamoeiro no Ceará, considerando-se a alocação das plantações nos municípios que tenham, entre outros fatores, mais disponibilidades de recursos hídricos.

É importante ainda notar que o governo deve formular e garantir a conformidade entre as políticas comerciais e hídricas, de modo a diminuir a exportação de produtos de pequeno valor econômico agregado e que fazem utilização intensiva de água, como fator de produção, em regiões com escassez. Com isso, incrementa-se a eficiência da utilização de recursos hídricos, na bacia hidrográfica, por meio da alocação de água para os fins que proporcionem mais vantagens à sociedade.

REFERÊNCIAS

- CAMPELO A. R.; AZEVEDO B. M.; NASCIMENTO NETO, J. R.; VIANA, T. V. de A.; PINHEIRO NETO, L. G.; LIMA, R. H. Manejo da cultura do melão submetida a frequências de irrigação e fertirrigação com nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, v. 32, p. 138-144, 2014.
- CAMPOS, J. N. B.; STUDART, T. M. D. C. Drought and water policies in Northeast Brazil: Backgrounds and rationale. **Water Policy**, 2008. DOI: <https://doi.org/10.2166/wp.2008.058>
- CAMPOS, J. N. B.; SOUZA FILHO, F. A.; LIMA, H. V. C. Risks and uncertainties in reservoir yield in highly variable intermittent rivers: case of the Castanhão Reservoir in semi-arid Brazil. **Hydrological Sciences Journal**, v. 59, n. 6, 2014.
- CARNEIRO, J. M.; DIAS, A. F.; BARROS, V. S.; GIONGO, V.; MATSUURA, M. I. D. S. F.; FIGUEIRÊDO, M. C. B. Carbon and water footprints of Brazilian mango produced in the semiarid region. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, p. 1-18, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11367-018-1527-8>.

CHENA, W.; WUA, S.; LEI, Y.; LI, S. China's water footprint by province, and inter-provincial transfer of virtual water. **Ecological Indicators**, v. 74, p. 321-333, 2017.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Governo do Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **A Embrapa: Pesquisa e Desenvolvimento**. Disponível em: <http://www.embrapa.br/>. Acesso em: 09 fev. 2018.

EPA, Environmental Protection Agency. **Drinking water contaminants**. Disponível em: www.epa.gov/safewater/mcl.html#1. Acesso em: 18 fev. 2018.

FANDIKA, I. R. *et al.* Water Footprint Differences of Producing Cultivars of Selected Crops in New Zealand. **Irrigation in Agroecosystems**. IntechOpen, 2019. Disponível em: <https://www.intechopen.com/books/irrigation-in-agroecosystems/water-footprint-differences-of-producing-cultivars-of-selected-crops-in-new-zealand>. Acesso em: 09 fev. 2019

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Databases & software: cropWat**. Disponível em: <http://www.fao.org/land-water/en/>. Acesso em: 09 fev. 2018.

FITZGERALD, J. B.; AUERBACH, D. The Political economy of the water footprint: a cross-national analysis of ecologically unequal exchange. **Sustainability**, v. 8, p. 1263, 2016.

FUNCEME - Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Governo do Estado do Ceará. Secretaria dos Recursos Hídricos. **Estações e dados**. Disponível em: <http://www.funceme.br/>. Acesso em: 19 fev. 2018.

HOEKSTRA, A. Y. Water footprint assessment: evolvment of a new research field. **Water Resources Management**, v. 31, p. 3061-3081, 2017.

HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, Ashok K.; ALDAYA, Maite M.; MEKONNEN. Mesfin M. **The water footprint assessment manual: setting the global standard**. London: Earthscan, 2011.

HOEKSTRA, A. Y.; HUNG, P. Q. Virtual water trade: a quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. Delft: Unesco-IHE Institute for Water Education, 2002. **Value of Water: Research Report Series**, v. 11, 120 p.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Governo do Brasil. Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão. **Banco de dados**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/>. Acesso em: 18 fev. 2018.

IPECE - Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. Governo do Estado do Ceará. Secretaria do Planejamento e Gestão. **Anuário Estatístico do Ceará: Aspectos Econômicos**. Disponível em: <http://www.ipece.ce.gov.br/index.php/anuario-estatistico-do-ceara>. Acesso em: 18 fev. 2018.

LOVARELLI, D.; BACENETTI, J.; FIALA, M. Water Footprint of crop productions: a review. **Science of the total environment**, v. 548-549, p. 236-251, 2016.

MDIC - Ministério da Indústria. Comércio Exterior e Serviços. **Comércio exterior**. Disponível em: <http://www.desenvolvimento.gov.br/sitio/interna/index.php?area=5>. Acesso em: 19 fev. 2018.

MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 8, p. 763-809, 2011.

NOVOA, V.; ROJAS, O.; ARUMÍ, J. L.; ULLOA, C.; URRUTIA, R. Variabilidad de la huella hídrica del cultivo de cereales, río Cachapoal, Chile. **Tecnología y Ciencias del Agua**, v. 7, n. 2, p. 35-50, mar./abr. 2016.

OLIVEIRA, T. E. de; FREITAS, D. S. de; CAMFIELD, L. H. R.; DILL, M. D. O agronegócio da água. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**. v. 9, n. 4, p. 785-802, out./dez. 2016.

ORTIZ-RODRIGUEZ, O. O.; NARANJO, C. A.; GARCÍA-CACERES, R. G.; VILLAMIZAR-GALLARDO, R. A. Water footprint assessment of the Colombian cocoa production.

Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 19, n. 9, p. 823-828, 2015.

REBOUÇAS, A. C. Água doce no mundo e no Brasil. *In*: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA JUNIOR, B. P. F.; TUNDISI, J. G. (org.). Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação. 3. ed. São Paulo: Escrituras, 2006.

SCARPARE, F. V. *et al.* Sugar cane footprint under different management practices in Brazil: Tietê/Jacaré watershed assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 4576-4584, 2015.

SILVA, V. P. R.; OLIVEIRA, S. D.; HOEKSTRA, A. Y.; DANTAS NETO, J.; CAMPOS, J. H. B. C.; BRAGA, C. C.; ARAÚJO, L. E.; ALEIXO, D. O.; BRITO, J. I. B.; SOUZA, M. D.; *et al.* Water footprint and virtual water trade of Brazil. **Water** 2016, 8, 517.

UNESCO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The United Nations World water development report 2015: water for a sustainable world**. Disponível em: http://www.unesco.org/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/images/WWDR2015Facts_Figures_ENG_web.pdf. Acesso em: 20 fev. 2018.

Recebido em: 20/02/2018

Aceito em: 27/01/2020