

Água Virtual e gestão de recursos hídricos: Reflexões sobre a pauta de exportação de produtos agrícolas no semiárido brasileiro

Virtual water and water resources management: Thoughts on agricultural trade policy in Semiarid Brazil

Sérgio R. ROCHA¹, Ticiano M. C. STUDART², M. Manuela PORTELA³, Rogério S. STUDART FILHO⁴, Alessandra de Mensurado PIRES⁵

¹ Banco Central do Brasil, Av. Heráclito Graça, 273 - Centro, Fortaleza, Ceará, Brasil, CEP 60140-061

² Dept. de Enga. Hidráulica e Ambiental (DEHA) - Universidade Federal do Ceará (UFC), Bloco 713, Campus do Pici, Fortaleza, Ceará, Brasil, CEP 60451-970, e-mail: ticiano@ufc.br

³ Investigação e Inovação em Engenharia Civil para a Sustentabilidade, CERIS, Instituto Superior Técnico (IST), Universidade de Lisboa (UL), Av. Rovisco Pais 1, 1049-001, Lisboa, Portugal, email: maria.manuela.portela@ist.utl.pt

⁴ Mestrado em Bioenergia, Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT), Universidade Nova de Lisboa, Calçada de Alfazina 2, 2825-149, Caparica, Portugal, email: rogeriosolianistudartfilho@gmail.com

⁵ Mestrado em Urbanismo Sustentável e Ordenamento do Território, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas (FCSH), Universidade Nova de Lisboa, Avenida Berna 26 C, 1069-061, Lisboa, Portugal, email:alessandramensurado@hotmail.com

RESUMO: O presente estudo estimou a pegada hídrica azul, verde e cinzenta dos principais produtos agrícolas da pauta de exportação do Estado do Ceará, no Semiárido Brasileiro, no período 1997 a 2012. Conclui-se que praticamente toda a água virtual exportada em produtos agrícolas pelo Ceará é proveniente da cadeia produtiva da castanha de caju, tanto pela grande quantidade exportada, como pela sua elevada pegada hídrica total. Felizmente, 72% da água virtual requerida na sua produção é água verde. O caso da castanha de caju evidencia que a água verde precisa de ser também urgentemente incorporada na gestão da água, eventualmente, através de técnicas de irrigação mais eficientes ou destinadas a reduzir a evapotranspiração do solo (como por exemplo o mulche). Este último aspeto é tanto mais relevante, quanto o Ceará executa há quase 30 anos uma política de gestão de recursos hídricos considerada exemplar no Brasil, contudo, sem nunca ter atendido à água virtual como uma nova dimensão do problema. A metodologia que se apresenta, para além de chamar a atenção para o problema da gestão dos recursos hídricos em zonas semiáridas e para a relevância da compreensão e da quantificação das transferências do recurso inerentes à exportação de produtos agrícolas (designadamente nas componentes azul, verde e cinzenta que constituem a água virtual), pode ser replicada a contextos afins, como os que ocorrem em algumas Ilhas de Cabo Verde.

Palavras-Chave: Água virtual; pegada hídrica; castanha de caju, Ceará

ABSTRACT: This paper aims to quantify the contribution of agricultural trade in terms of virtual water flows – blue, green and gray – between the state of Ceará-Brazil and its international partners from 1997 to 2012. Essentially, all virtual water exported and imported by Ceará in agricultural products came from cashew nuts, due its high virtual water consumption (in l/kg) and the large quantities produced (in kg). Fortunately, 72% of the virtual water required for cashew nut production comes directly from rain (green water). The cashew nut case highlighted that green water is by far the largest share of virtual water embodied in exportable agricultural products from Ceará State. Interestingly, virtual water has an important role in production but has been underestimated in the state's water resources management model, which despite successful over the past 30 years. The methodology presented, in addition to drawing attention to the problem of managing water resources in semi-arid areas and to the importance of understanding and quantifying the transfers of virtual water on agricultural products (blue, green and gray), can be replicated in similar contexts, such as those that occur in some Cabo Verde islands.

Keywords: Virtual water; water footprint; cashew nut; Ceará.

1. INTRODUÇÃO

O comércio internacional é visto hoje como um meio de permuta de recursos hídricos via água virtual entre regiões do Planeta (Fan *et al.* 2019; Dalin *et al.* 2012). Países exportadores de gêneros alimentícios são, na prática, fontes de água virtual (Yang *et al.* 2007; Dang 2015).

Inicialmente a 'água virtual' referia-se unicamente à água contida nos produtos (Allan 1998); ao longo dos anos o conceito evoluiu e hoje engloba toda a água envolvida na cadeia produtiva de um bem ou serviço (Allan 2011; Konar *et al.* 2011; Oki *et al.* 2017). A pegada hídrica, por sua vez, é um indicador de consumo e avalia o volume de água usado nos bens e serviços que são consumidos e utilizados pelos habitantes de uma região (Hoekstra *et al.* 2011; Wang *et al.* 2013; Hoekstra 2013; Hoekstra 2017).

A pegada hídrica da produção agrícola de um produto específico pode variar consideravelmente de uma região para outra, em consequência de diferenças climáticas e dos sistemas produtivos (Kongboon and Sampattagul 2012). A elevada evapotranspiração potencial característica das zonas áridas e semiáridas, faz com que a produtividade da água aí usada na produção agrícola seja baixa (Arabi *et al.* 2012). Com efeito e exemplificando, produzir um quilograma de uma gramínea numa região árida pode exigir duas ou três vezes mais água do que produzilo numa região húmida (Velázquez *et al.* 2011). Tal circunstância pode indicar se, do ponto de vista do recurso hídrico, a importação de um bem (mas também a de um serviço) é mais vantajosa do que a sua produção no local do consumo. Nesse entendimento, países ricos em água deveriam produzir commodities exportáveis requerendo alta incorporação de água nas suas cadeias produtivas, deste modo suprindo necessidades de países com escassez hídrica, os quais poderiam alocar seus limitados recursos hídricos para utilizações prioritárias (Verma *et al.* 2009; El-Sadek 2010).

O presente trabalho analisa a pegada hídrica associada a produtos agrícolas no Estado do Ceará, bem como trocas de água virtual – verde, azul e cinzenta - entre esse Estado e diversos países, seus principais parceiros comerciais. A pegada hídrica verde refere-se à utilização da água retida no solo; a azul, à utilização dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos; e a cinzenta, à água poluída em consequência da produção de bens ou de serviços, correspondendo ao volume necessário para assegurar a diluição dos poluentes e as metas de qualidade. A distinção entre água azul e água verde é importante, dado que a azul tem um custo de

oportunidade maior do que o da verde (Falkenmark 2003; Rockström 2001).

Localizado no Semiárido Brasileiro, o Ceará (área de cerca de 149.000 km²) é considerado hoje um dos estados brasileiros mais avançados na gestão de recursos hídricos. Apesar das suas características hidroclimatológicas desfavoráveis – alta variabilidade inter e intra anual da precipitação, rios intermitentes e altas taxas de evapotranspiração - os produtos agrícolas tem um peso considerável na balança comercial do Estado. Em termos financeiros, cerca de 22% da pauta de exportação cearense é constituída por castanha de caju e frutas.

Assim, o trabalho que se apresenta teve por objetivo compreender e quantificar os fluxos de 'água virtual' entre o Ceará e parceiros internacionais seus, analisando a pauta de exportação anual dos principais produtos agrícolas do Estado durante o período de 1997 a 2012, com especial atenção na castanha de caju, responsável por 16,4% da pauta de exportação e por 74%, da pauta dos produtos agrícolas mais relevantes. Análises do tipo da que se apresenta terão cada vez mais relevância na identificação de soluções para uma melhor gestão hídrica, designadamente em ambientes que se esperam vir a ser progressivamente mais afetados por escassez hídrica.

2. METODOLOGIA

Os dados quantitativos necessários ao estudo desenvolvido foram obtidos das seguintes fontes oficiais dos governos do Ceará e do Brasil (proveniências identificadas por Ceará e Brasil, respetivamente): Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC, Brasil), Sistema AgroStat de Estatísticas de Comércio Exterior do Agronegócio Brasileiro do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, Brasil), Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, Brasil), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, Brasil), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, Brasil), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, Brasil), Secretaria do Desenvolvimento Agrário do Estado do Ceará (SDA, Ceará), Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Ceará (EMATERCE, Ceará), Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE, Ceará), Agência do Desenvolvimento do Estado do Ceará (ADECE, Ceará), Agência de Defesa Agropecuária do Estado do Ceará (ADAGRI, Ceará), Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME, Ceará) e Environmental Protection Agency (EPA, EUA).

Foram escolhidos os produtos básicos agrícolas

mais relevantes, constantes das estatísticas do MDIC (2013), avaliados em dólares americanos (US\$) e a preços Free On Board (FOB), das pautas de exportação do Estado do Ceará, para o período de 1997 a 2012 (período com dados disponibilizados pelo MDIC). Os dados mensais dos valores financeiros (US\$) e das quantidades exportadas (kg) foram obtidos na Secretaria de Comércio Exterior (SECEX), do MDIC, por intermédio do Sistema de Análise das Informações de Comércio Exterior (AliceWeb) (MDIC, 2013).

A pegada hídrica dos produtos exportados foi calculada, para efeitos da pesquisa inerente ao presente estudo, de acordo com a abordagem da produção, que quantifica a água virtual como sendo a consumida no lugar de produção da mercadoria (Chapagain and Hoekstra 2003), ou seja, para o caso de estudo, no Ceará. Para cada cultura exportada, foi selecionado o município cearense com maior produção (em quilogramas), no período pesquisado. O tipo de lavoura e o modo de satisfação das necessidades hídricas de cada cultura exportada foram os predominantes no respectivo município maior produtor.

O IPECE, o IBGE, o MAPA, a CONAB, a SDA, a EMBRAPA e a EMATERCE foram as fontes de pesquisa de dados de produtividade das culturas produzidas no Ceará. A produtividade de culturas de ciclo anual foi baseada nas estatísticas oficiais de produção agrícola, sendo considerada a produtividade média anual ao longo do ciclo completo da cultura. No presente estudo, foi calculada a média anual de produtividade de cada cultura, para os dezasseis anos pesquisados. Quanto às culturas permanentes, foi necessário atender a que a produtividade no primeiro ano da plantação é baixa, ou praticamente nula, cresce após alguns anos e diminui quando o ciclo da cultura finaliza. Para quantificar a consumo de água de uma cultura permanente é preciso determinar a média anual de utilização desse recurso ao longo de seu ciclo completo de vida (Hoekstra *et al.* 2011).

Os dados de coeficientes culturais e datas de plantação e de colheita no período de dezasseis anos a que se refere o estudo foram pesquisados na EMBRAPA e EMATERCE. Com base em tais dados, foram calculadas as respectivas médias anuais, para cada município e para cada cultura, as quais foram usadas nos cálculos anuais da pegada hídrica.

Resume-se, seguidamente, a metodologia de cálculo de cada componente da pegada hídrica, sendo que os padrões de pegada hídrica dos produtos selecionados foram quantificados de acordo com The Water Footprint Assessment Manual (Hoekstra *et al.* 2011).

2.1 Pegada hídrica verde

A componente verde da pegada hídrica, relativa ao processo de crescimento de uma cultura, arbórea ou não, foi determinado por meio da Equação 2.1.

$$PH_{verde} = \frac{10 \times \sum_{d=1}^{dpc} ET_{verde}}{P} \quad [2.1]$$

em que PH_{verde} é o padrão da pegada hídrica verde (m^3/t); 10, um fator adimensional que converte altura de água (mm) em volume por unidade de área (m^3/ha); ET_{verde} , a evapotranspiração verde da cultura (mm/dia), a qual é acumulada desde o dia da plantação, $d=1$, até ao final do período de crescimento, dpc (dias); e P é a produtividade da cultura (t/ha).

ET_{verde} é dada pelo valor mínimo da evapotranspiração da cultura, ET_c (mm/dia), e da precipitação efetiva PE (mm/dia) (Equação 2.2). A evapotranspiração verde é nula quando se tratar de uma cultura de regadio (Chapagain and Hoekstra 2011).

$$ET_{verde} = \min(ET_c, PE) \quad [2.2]$$

2.2 Pegada hídrica azul

Na quantificação da pegada hídrica azul utilizou-se a Equação 2.3:

$$PH_{azul} = \frac{10 \times \sum_{d=1}^{dpc} ET_{azul}}{P} \quad [2.3]$$

em que as novas variáveis se referem ao padrão da pegada hídrica azul, PH_{azul} (m^3/t) e à parcela de evapotranspiração baseada na água azul, ET_{azul} (mm/dia), a qual é também acumulada para o período antes especificado.

ET_{azul} é dada pelo valor máximo entre zero e a diferença entre a evapotranspiração cultura e a precipitação efetiva (Equação 2.4). Se a precipitação efetiva for superior à evapotranspiração da cultura (caso, por exemplo, de uma cultura de sequeiro), a evapotranspiração azul é nula (Chapagain and Hoekstra 2011).

$$ET_{azul} = \max(0, ET_c - PE) \quad [2.4]$$

2.3 Pegada hídrica cinzenta

A quantificação da pegada hídrica cinzenta foi efetuada de acordo com a Equação 2.5:

$$PH_{cinzenta} = \frac{(\alpha \times TA) / (c_{máx} - c_{nat})}{P} \quad [2.5]$$

em que $PH_{cinzenta}$ é o padrão da pegada hídrica cinzenta (m^3/t); α , a fração de lixiviação

(adimensional); TA , a taxa de aplicação de fertilizantes, inseticidas ou pesticidas (kg/ha); $c_{máx}$ e c_{nat} as concentrações máxima admissível e natural do poluente no meio hídrico receptor; e P (t/ha) tem o significado antes apresentado.

Os poluentes são constituídos, de modo geral, por fertilizantes (nitrogénio, fósforo, potássio e outros), inseticidas e pesticidas. O nitrogénio pode ser considerado como o principal indicador de impacto da utilização de fertilizantes em sistemas produtivos, sendo utilizada a fração de lixiviação – quantidade de nitrogénio que chega livre aos corpos hídricos – de 10% da taxa de aplicação, em kg/ha, de acordo com padrão de água potável, recomendado pela EPA, de 10 mg N/litro (EPA 2013), que, para efeitos dos cálculos efetuados no trabalho que se apresenta, foi adotado como sendo a concentração máxima. Os valores adotados para as para taxas de aplicação de nitrogénio foram obtidos da EMBRAPA e EMATERCE.

2.4 A pegada hídrica total

O padrão da pegada hídrica total, PH_{total} (m³/t), é dada pela soma dos padrões relativos às componentes verde, azul e cinzenta de todo o processo de crescimento da cultura, conforme Equação 2.6:

$$PH_{total} = PH_{verde} + PH_{azul} + PH_{cinzenta} \quad [2.6]$$

Os dados de precipitação foram facultados pela FUNCEME, sendo que em todos os municípios selecionados existem postos udométricos. A precipitação média diária refere-se aos dezasseis anos estudados. Ressalte-se que cada cultura tem seu período de crescimento específico, sendo considerada, para efeitos de suprimento da respetiva necessidade hídrica, a precipitação que realmente ocorreu durante esse período.

O cálculo da evapotranspiração de referência de cada cultura, ET_o , utilizou o método Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998), baseado no efeito combinado do transporte convectivo das massas de ar e da radiação líquida e que requer dados de temperatura, humidade, insolação e velocidade do vento, de solo, além de características da cultura. Tais dados foram obtidos a partir das estações meteorológicas do INMET localizadas em cada um dos municípios selecionado como principal produtor de uma dada cultura. Caso não exista uma estação meteorológica nas anteriores condições, adotaram-se os dados da estação mais próxima. As estações climatológicas selecionadas foram as que se seguem, sendo que os municípios são identificados entre parêntesis:

Beberibe (Jaguaruana), Icapuí (Jaguaruana), Iguatu (Iguatu), Limoeiro do Norte (Morada Nova), Mauriti (Barbalha), Meruoca (Sobral), Morada Nova (Morada Nova), Santa Quitéria (Sobral), Trairi (Acarauá) e Varjota (Sobral).

Para cada município, foi calculada a média anual de evaporação de referência. A evapotranspiração de cada cultura foi obtida multiplicando a anterior evapotranspiração pelo coeficiente de cultura em causa, conforme a Equação 2.7.

$$ET_c = K_c \times ET_o \quad [2.7]$$

em que ET_c é a evapotranspiração da cultura (mm); K_c , o coeficiente de cultura (adimensional); e ET_o , a evapotranspiração de referência (mm).

A quantificação do volume da pegada hídrica de um produto foi obtida por meio da multiplicação do padrão de consumo da pegada hídrica pela quantidade exportada ou importada, de acordo com a Equação 2.8.

$$PH_{exp/imp} = PH_{total} \times Q_{exp/imp} \quad [2.8]$$

em que $PH_{exp/imp}$ é o volume total, exportado ou importado, da pegada hídrica por produto (l); PH_{total} , é o padrão de pegada hídrica total do produto exportado ou importado (l/kg); e $Q_{exp/imp}$, a quantidade exportada ou importada desse produto (kg).

3. RESULTADOS

Os produtos agrícolas exportados selecionados estão discriminados na Tabela 3.1, representando, em termos financeiros, cerca de 22% de toda a pauta de exportação cearense entre 1997 e 2012. Realça-se a grande importância da castanha de caju, responsável por 16,4%, da pauta de exportação, e por 74%, da pauta dos produtos agrícolas mais relevantes. Em quantidade (t), o produto agrícola mais exportado é o melão fresco.

A Tabela 3.2 apresenta, para cada cultura exportada, o município cearense com maior produção no período considerado, o tipo de agricultura praticada e o modo de satisfação das necessidades hídricas dessa cultura. Como referido, a pegada hídrica dos produtos exportados foi calculada de acordo com a abordagem da produção, que considera a água virtual como sendo a consumida nos respetivos locais de produção.

Na Tabelas 3.3 apresenta-se a produtividade, o coeficiente de cultura, o período de plantação e de colheita e a taxa de aplicação de fertilizantes, pesticidas e inseticidas por produto de exportação do Ceará (1997–2012), para as culturas exportadas.

Verifica-se que, de entre as culturas exportáveis, a castanha de caju possui a menor taxa de aplicação de fertilizantes, inseticidas e pesticidas (22kg/ha). Verifica-se, ainda, que não obstante a correspondente evapotranspiração de referência (ET_o) ser próxima das evapotranspirações de referência das demais culturas, o baixo coeficiente cultural (K_c = 0,55) faz com que as perdas por evapotranspiração sejam mais reduzidas. Contudo,

a baixa produtividade (apenas de 0,3 t/ha) implica extensas áreas agricultadas.

As pegadas hídricas (verde, azul, cinzenta e total) obtidas para os diferentes produtos exportados no período analisado são apresentadas na Tabela 3.4. As pegadas de cada tipo dependem da cultura, do modo de satisfação da necessidade hídrica e do local de produção, nomeadamente, em termos de solo e de clima.

Tabela 3.1. Produtos selecionados da pauta de exportação do Ceará (1997–2012).

Produto	Quantidade (t)	10° US\$	% da pauta de exportação
Abacaxi fresco ou seco	111.841,8	52,7	0,39
Banana fresca ou seca	113.023,7	45,5	0,33
Banana fresca ou seca, exceto banana-da-terra	22.233,5	9,8	0,07
Castanha de caju, fresca ou seca, sem casca	463.251,4	2.228,7	16,37
Manga fresca ou seca	29.244,8	19,8	0,15
Mamão (papaia) fresco	5.256,3	4,2	0,03
Melancia fresca	142.852,8	62,3	0,46
Melão fresco	876.643,9	559,8	4,11
Total		2.982,8	21,91

Fonte: MDIC (2013).

Tabela 3.2. Pauta de exportação do Ceará (1997–2012). Municípios produtores, tipo de agricultura e modo de satisfação da necessidade hídrica por produto.

Produto	Município	Agricultura	Modos de satisfação da necessidade hídrica
Abacaxi fresco ou seco	Icapuí	Temporária	Sequeiro e irrigação
Banana fresca ou seca	Limoeiro do Norte	Permanente	Sequeiro e irrigação
Banana fresca ou seca, exceto banana-da-terra	Limoeiro do Norte	Permanente	Sequeiro e irrigação
Castanha de caju, fresca ou seca, sem casca	Beberibe	Permanente	Sequeiro e irrigação
Manga fresca ou seca	Varjota	Permanente	Sequeiro e irrigação
Mamão (papaia) fresco	Mauriti	Permanente	Sequeiro e irrigação
Melancia fresca	Icapuí	Temporária	Irrigação
Melão fresco	Icapuí	Temporária	Irrigação

Fonte: MDIC (2013), MAPA (2013), CONAB (2013), EMBRAPA (2013), IBGE (2013), SDA (2013), EMATERCE (2013) e IPECE (2013).

Tabela 3.3. Produtos da pauta de exportação do Ceará (1997–2012). Produtividade (Prod), período de plantação e de colheita das culturas, taxa de aplicação de fertilizantes, pesticidas e inseticidas por produto (TF), coeficiente de cultura (K_c), evapotranspiração de referência (ET_o) e evapotranspiração da cultura.

Produto	Prod (t/ha)	Plantação e colheita		TF (kg/ha)	(K _c)	E _{to} (mm)	E _c (mm)
		Período	Duração (dias)				
Abacaxi fresco ou seco	60,1	Março a abril do outro ano	420	80	0,88	5,2	4,57
Banana fresca ou seca	23,0	Permanente	365	100	0,96	5,6	5,36
Banana fresca ou seca, exceto banana-da-terra	23,0	Permanente	365	100	0,96	5,6	5,36
Castanha de caju, fresca ou seca, sem casca	0,3	Permanente	365	22	0,55	5,2	2,85
Manga fresca ou seca	55,7	Permanente	365	240	0,91	5,0	4,59
Mamão (papaia) fresco	16,5	Permanente	365	118	0,71	4,7	3,34
Melancia fresca	37,8	Agosto a outubro	75	102	1,10	5,2	5,71
Melão fresco	28,3	Agosto a outubro	65	50	1,06	5,2	5,50

Fonte: Elaborado com base em dados de IPECE (2013), IBGE (2013), MAPA (2013), CONAB (2013), SDA (2013), EMBRAPA (2013) e EMATERCE (2013), INMET (2013)

Observa-se que a castanha de caju apresenta a maior pegada hídrica total, correspondendo, em valor absoluto, a 99,1% de toda a água virtual exportada em produtos agrícolas. Felizmente, 72% da água virtual necessária à sua produção provém diretamente da chuva (visto tratar-se de uma cultura de sequeiro). A nível mundial, as médias das pegadas hídricas verde, azul e cinzenta da castanha de caju são de 90,4%, 6,5% e 3,1%, respetivamente, pelo que se conclui que a utilização, em termos percentuais, de água oriunda da irrigação (água azul) para produzir castanha de caju no Ceará é superior à média mundial. O padrão de consumo de água cinzenta no Ceará é de 2,1% é inferior a média mundial.

De entre os resultados obtidos, menciona-se a estimativa de cerca de 40.000 l/kg de água virtual para produzir castanha de caju no Ceará; nas Honduras tal valor reduz-se para cerca de 7.000 l/kg, sendo que a correspondente média mundial é de aproximadamente 14.000 l/kg (Mekonnen; Hoekstra, 2010). Constata-se, assim, a pouca eficiência do Estado do Ceará no que respeita à produção da castanha de caju. Apesar deste facto, o Ceará é responsável por 80% de toda a castanha de caju brasileira exportada. Em 2011, o Brasil foi o quinto maior produtor e o terceiro maior exportador mundial dessa mercadoria (MDIC 2013). Face ao elevado consumo de água virtual da castanha de caju produzida no Ceará (em l/kg) e das grandes quantidades produzidas (em kg), e devido a sua importância económica para o Estado - a castanha responde por 16,4% de toda a pauta de exportação (em valores financeiros) - os

gestores de recursos hídricos do Ceará poderiam realizar estudos visando diminuir a correspondente pegada azul. No período analisado, a água virtual azul exportada somente nesse produto foi estimada em 4.742,6 hm³, correspondendo a cerca de 70% da capacidade do reservatório Castanhão, o maior reservatório do Estado do Ceará e a sua mais importante reserva estratégica, com uma capacidade de armazenamento (6.700,0 hm³) tal que o classifica também como a maior barragem para fins múltiplos da América Latina.

Como se explicita na Tabela 3.7, 71,5% da água virtual necessária para produzir os produtos agrícolas exportáveis é verde, ou seja, é diretamente oriunda da chuva, referindo-se a agricultura de sequeiro.

De entre os produtos irrigados que mais consomem água azul - a qual poderia ser alocada a outros usos - estão o melão, a melancia e a banana (por esta ordem). A melancia, além de uma das maiores pegadas hídricas azuis, é a que apresenta maior pegada cinzenta, o que indica a utilização de fertilizantes, pesticidas e inseticidas na sua produção, contribuindo para a contaminação da água na bacia hidrográfica onde é cultivada. Observa-se que a água virtual azul exportada nas mercadorias agrícolas (4.878,3 hm³) no período de dezasseis anos analisado representa igualmente uma fração muito elevada da capacidade do reservatório Castanhão, ou ainda cerca de 2,5 vezes a capacidade do reservatório Orós (1.940 hm³), a segunda maior reserva de água do Estado.

Este estudo também identificou os países que mais importaram água virtual do Estado do Ceará

Tabela 3.4. Pegadas hídricas (PHs) verde, azul e cinzenta e total (PHT) por produto de exportação do Ceará (1997–2012).

Produto	PH Verde		PH Azul		PH Cinzenta		PH Total	
	Consumo (hm ³)	%	Consumo (hm ³)	%	Consumo (hm ³)	%	Consumo (hm ³)	%
Abacaxi fresco ou seco	22,5	60,5	13,2	35,5	1,5	4,0	37,2	0,2
Banana fresca ou seca	34,1	33,7	62,0	61,4	4,9	4,9	101,0	0,5
Banana fresca ou seca, exceto banana-da-terra	6,7	33,7	12,2	61,4	1,0	4,9	19,9	0,1
Castanha de caju, fresca ou seca, sem casca	13.200,1	72,0	4.742,6	25,9	378,9	2,1	18.321,5	99,1
Manga fresca ou seca	0,9	47,9	0,7	39,6	0,2	12,5	1,8	0,0
Mamão (papaia) fresco	13,7	58,1	7,8	33,1	2,1	8,8	23,7	0,1
Melancia fresca	-	0,0	16,2	80,8	3,9	19,2	20,0	0,1
Melão fresco	-	0,0	110,9	87,7	15,5	12,3	126,5	0,7
Soma	13.214,7	-	4.878,3	-	400,5	-	18.493,5	-
% PHT de todas as culturas	71,5		26,4		2,2			

Fonte: Elaborado com base em dados de MDIC (2013), FUNCEME (2013), INMET (2013), MAPA (2013), CONAB (2013), EMBRAPA (2013), IBGE (2013), SDA (2013), EMATERCE (2013), IPECE (2013), ADECE (2013), ADAGRI (2013) e EPA (2013).

no período analisado. Concluiu-se, assim, que os Estados Unidos, isoladamente, respondem por 65,3% da água virtual exportada em produtos agrícolas pelo Ceará, resultante, principalmente da compra da castanha de caju: de entre os 72 países importadores desse produto, 66,5% vai para os Estados Unidos. Dado que 99,1% das exportações de água virtual via produtos agrícolas do Ceará se refere à castanha de caju (4.742,6 hm³, como antes referido), significa que os EUA receberam do Ceará 3.153,4 hm³ de água virtual, ou seja, cerca de 94% de toda a água virtual exportada pelo Ceará.

4. CONCLUSÕES

Conclui-se que, em termos monetários, a castanha de caju é responsável por 16,4% da pauta de exportação do Estado. Pela grande quantidade exportada e pela sua elevada pegada hídrica total - a maior entre todos os produtos agrícolas exportados - praticamente toda (99,1%) a água virtual exportada em produtos agrícolas pelo Ceará é proveniente da cadeia produtiva dessa cultura. Felizmente, 72% da água virtual requerida na sua produção provem diretamente da chuva (agricultura de sequeiro), sendo que não produz muita carga poluente (a pegada hídrica cinzenta é de apenas 2,1% da sua pegada hídrica total). Contudo, a água azul necessária à sua produção (25,6%) é muito significativa (4.742,6 hm³, cerca de 70% da capacidade do reservatório Castanhão - o maior reservatório do Estado do Ceará e a sua mais importante reserva estratégica, com uma capacidade de armazenamento de 6.700,0 hm³) tal que o classifica também como a maior barragem para fins múltiplos da América Latina.

Não obstante o volume de água virtual necessário para produzir 1 kg de castanha de caju no Ceará (40.000 l) ser quase o triplo da média mundial (Mekonnen and Hoekstra 2010) tal Estado é responsável por 80% de toda a castanha de caju brasileira exportada. Em 2011, o Brasil foi o quinto maior produtor e o terceiro maior exportador mundial desse produto (MDIC, 2013).

Os Estados Unidos, isoladamente, receberam 65,3% de toda a água virtual transferida do Ceará nos produtos agrícolas, resultante, principalmente da compra da castanha de caju, ou seja, 3.153,4 hm³ de água destinada à irrigação (água azul) (o equivalente a cerca de metade da capacidade do reservatório Castanhão).

É importante ressaltar o papel da água verde para a pauta de exportação do Estado. No Ceará, apesar do bem sucedido modelo de gestão de recursos hídricos, as águas geridas são unicamente as azuis,

armazenadas em reservatórios superficiais, os quais são operados de modo eficiente pela companhia de gestão de águas do Estado, com a participação pública. Contudo, o foco no Estado exclusivamente na água azul subestima o papel da água verde, como fator de produção relevante e que precisa de ser também urgentemente incorporado na gestão da água, eventualmente, através de técnicas de irrigação mais eficientes ou destinadas a reduzir a evapotranspiração do solo (tais como o mulche). É importante lembrar que a precipitação interceptada, absorvida pelas plantas e evapotranspirada compreende cerca de 65% dos fluxos de água doce da Terra (Falkenmark and Rockstrom 2004). Contudo, por regra, as interações água-solo-planta são completamente desconsideradas (Brown *et al.* 2009).

No caso de estudo, este último aspecto é tanto mais relevante, quanto o Ceará executa há quase 30 anos uma política de gestão de recursos hídricos considerada exemplar no Brasil, contudo, sem nunca ter atendido à água virtual como uma nova dimensão do problema.

A finalizar, não se pode deixar de destacar a metodologia utilizada que, para além de quantificar das transferências do recurso inerentes à exportação de produtos agrícolas (designadamente nas componentes azul, verde e cinzenta que constituem a água virtual), é detalhada o bastante para poder ser replicada a contextos afins, como os que ocorrem em algumas Ilhas de Cabo Verde.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, para o segundo autor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAGRI. AGÊNCIA DE DEFESA AGROPECUÁRIA DO ESTADO DO CEARÁ. Governo do Estado do Ceará. Secretaria do Desenvolvimento Agrário. *Defesa vegetal*. Disponível em: <www.adagri.ce.gov.br>. Acesso em: 23 dez. 2013.

ADECE. AGÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO ESTADO DO CEARÁ. Governo do Estado do Ceará. Conselho Estadual de Desenvolvimento Econômico. *Setores da economia*. Disponível em: <<http://www.adece.ce.gov.br>>. Acesso em: 24 dez. 2013.

Allen, R. G.; Pereira, L.; Raes, D.; Smith, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing

- crop water requirements. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) Irrigation and Drainage, Rome, paper 56, 1998. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/XO49OE/XO49OEOO.htm>>. Acesso em: 13 fev. 2013.
- Arabi, A.; Alizadeh, A.; Rajaei, Y. V.; Jam, K.; Niknia, N. Agricultural water footprint and virtual water budget in Iran related to the consumption of crop products by conserving irrigation efficiency. *Journal of Water Resource and Protection*, v. 4, p. 318-324, 2012.
- Brown, S.; Schreier, H.; Lavkulich, L. M. Incorporating virtual water into water management: a British Columbia example. *Water Resources Management*, v. 23, p. 2681-2696, 2009.
- Chapagain, A. K.; Hoekstra A. Y. Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products. *Value of Water Research Report Series*, Delft, the Netherlands, Unesco-IHE Institute for Water Education, n. 13, 2003.
- Chapagain, A. K.; Hoekstra A. Y. The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives. *Ecological Economics*, v. 70, p. 749-758, feb. 2011.
- CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Governo do Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Produtos e serviços: indicadores da agropecuária*. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/>>. Acesso em: 20 dez. 2013.
- Dalin, C.; Konar, M.; Hanasaki, N.; Rinaldo, A.; Rodriguez-Iturbe, I. Evolution of the global virtual water trade network. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS) of the United States of America*, v. 109, n. 16, p. 5989-5994, 2012.
- Dang, Q; Lin, X; Konar, M. Agricultural virtual water flows within the United States. *Water Resources Research*, v. 51, n. 2, p. 973-986, feb. 2015.
- El-Sadek, A. Virtual water trade as a solution for water scarcity in Egypt. *Water Resources Management*, v. 24, p. 2437-2448, 2010.
- EMATERCE. EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL DO CEARÁ. Governo do Estado do Ceará. Secretaria do Desenvolvimento Agrário. *Publicações*. Disponível em: <www.ematerce.ce.gov.br/>. Acesso em: 13 out. 2013.
- EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Governo do Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Agricultura*. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/>>. Acesso em: 11 out. 2013.
- EPA. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Drinking water contaminants*. Disponível em: <www.epa.gov/safewater/mcl.html#1>. Acesso em: 29 nov. 2013.
- Falkenmark, M.; Rockström, J. *Balancing water for humans and nature: the new approach in ecohydrology*. London: Earthscan, July 2004.
- Fan, X.; Li, X.; Yin, J.; Liang, J. Temporal Characteristics and Spatial Homogeneity of Virtual Water Trade: A Complex Network Analysis. *Water Resources Management*, v. 33, p. 1467-1480, 2019.
- FUNCEME. FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. Governo do Estado do Ceará. Secretaria da Ciência, Tecnologia e Educação Superior. *Tempo: download das séries históricas*. Disponível em: <<http://www.funceme.br/>>. Acesso em: 13 nov. 2013.
- Hoekstra, A. Y. The water footprint of modern consumer society. *Water Resources Management*, v. 27, n. 11, p. 3846-3848, sept. 2013.
- Hoekstra, A. Y.; Chapagain, A. K.; ALDAYA, M. M.; MEKONNEN, M. M. *The water footprint assessment manual: setting the global standard*. Water Footprint Network. London: Earthscan, 2011.
- Hoekstra, A. Y. Water Footprint Assessment: Evolution of a New Research Field. *Water Resources Management*, v. 31: 3061, 2017.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Governo do Brasil. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. *Banco de dados*. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em: 19 nov. 2013.
- INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Governo do Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Estações e dados*. Disponível em: <www.inmet.gov.br/>. Acesso em: 23 out. 2013.
- IPECE. INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. Governo do Estado do Ceará. Secretaria do Planejamento e Gestão. *Banco de dados: cipp*. Disponível em: <<http://www.ipece.ce.gov.br/>>. Acesso em: 13 out. 2013.
- Konar, M.; Dalin, C.; Suweis, S.; Hanasaki, N.; Rinaldo, A.; Rodriguez-Iturbe, I. Water for food: the global

- virtual water trade network. *Water Resources Research*, v. 47, n. 5, may 2011.
- Kongboon, R.; Sampattagul, S. The water footprint of sugarcane and cassava in northern Thailand. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, v. 40, p. 451-460, 2012.
- MAPA. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Governo do Brasil. *Vegetal*. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/>>. Acesso em: 13 dez. 2013.
- MDIC. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. Governo do Brasil. Secretaria de Comércio Exterior (Secex). *Comércio exterior*, 2013 <<http://www.desenvolvimento.gov.br/sitio/interna/index.php?area=5>>. Acesso em: 13 out. 2013.
- Mekonnen, M. M.; Hoekstra, A. Y. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Value of Water Research Report Series*, Delft, the Netherlands, Unesco-IHE Institute for Water Education, n. 47, 2010.
- Oki T, Yano S, Hanasaki N (2017) Economic aspects of virtual water trade. *Environ Res Lett* 12(4):044002
- Rockström, J.; Gordon, L. Assessment of green water flows to sustain major biomes of the world: implications for future ecohydrological landscape management. *Physics and Chemistry of the Earth (B)*, v. 26, n. 11-12, p. 843-85, 2001.
- SDA. Secretaria do Desenvolvimento Agrário do Estado Ceará. Governo do Estado do Ceará. *Informações e serviços*. Disponível em: <www.sda.ce.gov.br/>. Acesso em: 13 out. 2013.
- Velázquez, E.; Madrid, C.; Beltrán, M. J. Rethinking the concepts of virtual water and water footprint in relation to the production-consumption binomial and the water-energy nexus. *Water Resources Management*, v. 25, p. 743-761, 2011.
- Verma, S.; Kampman, D. A.; Van Der Zaag, P.; Hoekstra, A. Y. Going against the flow: a critical analysis of inter-state virtual water trade in the context of India's national river linking program. *Physics and Chemistry of the Earth*, v. 34, p. 261-269, 2009.
- Wang, Z.; Huang, K.; Yang, S.; Yu, Y. An input-output approach to evaluate the water footprint and virtual water trade of Beijing, China. *Journal of Cleaner Production*, v. 42, p. 172-179, mar. 2013.
- Yang, H.; Zehnder, A. "Virtual water": an unfolding concept in integrated water resources management. *Water Resources Research*, v. 43, n. 12, dec. 2007.