

## Capítulo • 3

# Pegada hídrica de produtos agrícolas: estudo de caso do melão Amarelo

*Maria Cléa Brito de Figueirêdo*

*Viviane da Silva Barros*

*Tayane de Lima Santos*

*Rubens Sonsol Gondim*

*Marília Ieda da Silveira Folegatti Matsuura*

*Cássia Maria Lie Ugaya*

## Introdução

A água é essencial para a vida humana e fator limitante na produção de alimentos. Cerca de 70% da água doce consumida é utilizada na produção agrícola, sendo esse setor o maior usuário desse recurso no planeta. A preocupação mundial com a eficiência do uso da água na produção agrícola e agroindustrial tornou o tema comum em discussões políticas, econômicas e científicas no século 21 (ENVIRONMENT MANAGEMENT GROUP, 2011; FAO, 2009; UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 2012).

O aumento da temperatura na Terra (INTERNATIONAL PAINEL ON CLIMATE CHANGE, 2006) aliado ao crescimento rápido da população (FAO, 2009) impulsiona os debates sobre como aumentar a produção de alimentos no planeta, que enfrenta mudanças nos fluxos hídricos. A expectativa de se chegar a uma população de 9 bilhões de pessoas em 2050 demandará aumento de 70% na produção de alimentos, implicando um crescimento de no mínimo 11% no uso de água para irrigação (TURRAL et al., 2011). Essa demanda em regiões semiáridas e áridas implicará maior pressão sobre os recursos hídricos, em um cenário nada confortável de mudanças climáticas.

Diante do desafio de produzir mais alimentos e outros bens com maior eficiência no uso da água, diversos estudos vêm avaliando a pegada hídrica de nações (CHAPAGAIN; HOEKSTRA, 2004), organizações (DELOITTE, 2012; INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE, 2011) e produtos, em especial agrícolas (DE BOER et al., 2013; FIGUEIRÊDO et al., 2014; MEKONNEN;



HOEKSTRA, 2011; MEKONNEN; HOEKSTRA, 2012; PFISTER et al., 2009; PFISTER et al., 2011; RIDOUTT; PFISTER, 2012). Em sua maioria, esses estudos apresentam informações relativas à quantidade de água requerida na produção, considerando um determinado processo ou todo o ciclo de vida de um produto agropecuário, e focando a avaliação dos impactos na escassez hídrica.

Este capítulo apresenta o conceito de pegada hídrica, os principais métodos disponíveis para inventário e avaliação do impacto do uso da água no ciclo de vida de produtos e a aplicação de um método de pegada, com foco na escassez hídrica, no estudo do melão Amarelo.

## Definição de pegada hídrica

O termo “pegada hídrica” foi inicialmente introduzido por Hoekstra (2003) para medir o volume total de água requerido na produção de todos os bens consumidos pelas pessoas de um país. Segundo o autor, esse volume total é calculado considerando o volume extraído de corpos hídricos do país e o volume importado de outros países (água virtual), fornecedores de produtos consumidos no país em estudo. Essa quantificação tinha como objetivo alertar a população para a quantidade de água requerida por produtos realizando a análise comparativa entre diferentes produtos.

O método proposto por Hoekstra (2003) para quantificação do volume de água relativo a um produto evoluiu ao longo dos anos incorporando os conceitos de água verde, azul e cinza. Hoekstra et al. (2011) definem como verde a água da chuva armazenada no solo, disponível e aproveitada para o desenvolvimento das plantas; como azul, a água escoada e percolada, posteriormente estocada em reservatórios superficiais e subterrâneos e utilizada em processos de produção (na agricultura, para irrigação de culturas); cinza, a água necessária para diluir a carga poluente oriunda de processos de produção, de acordo com padrões de qualidade da água no estado natural. A água cinza é virtual, ou seja, a quantidade de água para diluir os poluentes muitas vezes não está disponível na região, embora seja calculada e integre o valor da pegada hídrica no método de Hoekstra et al. (2011). A Rede de Pegada Hídrica, fundada em 2008, apresenta em seu site na internet um volume médio global de água verde, azul e cinza associado à produção de uma variedade de bioprodutos, como banana (790 L/kg), biodiesel de soja (11.397 L/L de biodiesel) e chocolate (17.196 L/kg) (WATER FOOTPRINT NETWORK, 2015).



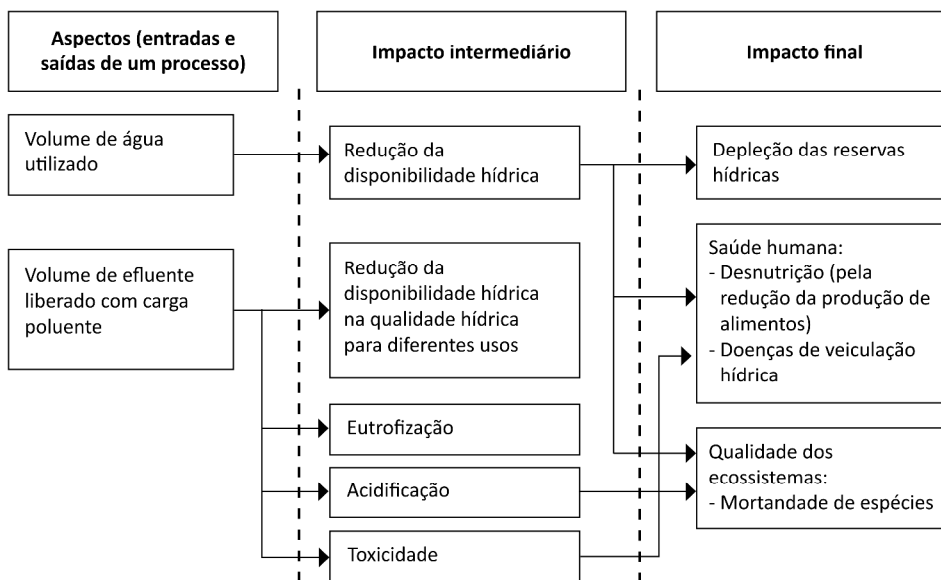
Embora a quantificação do volume de água demandado por um produto seja importante para a tomada de decisão sobre o uso desse recurso natural, outros fatores relacionados ao escopo do estudo e à avaliação dos impactos ambientais desse uso são relevantes em estudos de pegada hídrica. O escopo se refere à abrangência geográfica e temporal dos processos analisados pelo estudo da pegada. O estudo pode considerar o uso da água em um único processo produtivo, ocorrendo em determinada região, ou o uso em todos os processos que integram o ciclo de vida de um produto, abrangendo várias regiões. Pode-se ainda considerar o uso da água avaliando o histórico da produção nos últimos anos, ou estudando as variações sazonais ocorrentes em atividades agrícolas. Com isso, é possível diferenciar os efeitos do uso da mesma quantidade de água em regiões e épocas distintas.

A avaliação dos impactos ambientais em estudos de pegada hídrica se refere aos efeitos relacionados ao consumo e à degradação da qualidade da água (BAYART et al., 2010) (Figura 1). O consumo leva à redução no volume de água disponível, podendo causar a escassez do recurso em uma região. Um determinado consumo de água causa efeitos diferentes em uma região com adequada disponibilidade de água e em outra com carência desse recurso. A escassez de água pode ser um fator limitante à irrigação e à oferta de alimentos, afetando a segurança alimentar e, por consequência, a saúde da população. A escassez hídrica também reduz o fluxo de água nos corpos hídricos superficiais, podendo levar à diminuição no número de espécies ou quantidade de indivíduos de uma mesma espécie, afetando a qualidade dos ecossistemas. Quando o nível de escassez é crítico em uma região, a taxa de extração é maior que a de renovação das águas nos corpos hídricos superficiais e subterrâneos. Nessa situação, o consumo de água implicará em depleção das reservas hídricas existentes.

Impactos relacionados à degradação da qualidade da água ocorrem pela liberação de carga poluente em efluentes líquidos, lançados de forma pontual (ex.: efluente de uma extração de tratamento de esgoto industrial) ou difusa (ex.: efluente de áreas agrícolas). Esses efluentes, quando lançados em corpos hídricos, podem reduzir a qualidade da água necessária aos diferentes usos em uma região (Figura 1). A liberação de água com qualidade inferior à que foi captada pode reduzir a disponibilidade desse recurso para alguns fins, para os quais é requerido um padrão de qualidade superior (ex., dessedentação humana e animal, agricultura, lazer), com efeitos na oferta de alimentos. Águas



de qualidade inferior também podem causar impactos negativos nos corpos hídricos, tais como eutrofização, acidificação e toxicidade. Essas mudanças na cadeia de causa e efeito ambiental, por sua vez, podem culminar em efeitos adversos à saúde humana e biodiversidade dos ecossistemas.



**Figura 1.** Cadeia de causa e efeito ambiental relacionada ao uso da água.

Fonte: Adaptado de Bayart et al. (2010) e Kounina et al. (2013).

Nesse contexto, o conceito de pegada hídrica foi modificado nos últimos anos, passando da simples quantificação volumétrica da água demandada em um único processo de produção para a consideração de todos os processos ao longo do ciclo de vida do produto. Esse conceito também passou a contemplar a avaliação dos impactos ambientais relacionados ao consumo e degradação da água (BAYART et al., 2010; ISO, 2014; UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 2012).

Em 2014, foi publicada a norma internacional ISO 14046, que estabelece os procedimentos para contabilização e comunicação da pegada hídrica de produtos (ISO, 2014). Essa norma requer que a avaliação da pegada hídrica de um produto considere o seu ciclo de vida e a avaliação de impactos ambientais resultantes do uso da água, ou seja, do seu consumo e da liberação de poluentes em efluentes que atingem corpos d'água (ISO, 2014).



De acordo com esse conceito amplo de pegada hídrica, observa-se que o resultado de um estudo não se restringe a um valor de uma única categoria de impacto, mas a um conjunto de valores de categorias de impacto relacionadas à cadeia de causa e efeito do uso da água. Essa cadeia de causa e efeito está em constante expansão, pois, com certa frequência, novos impactos são identificados e relacionados ao uso da água.

Nesse sentido, estudos relacionados à pegada hídrica devem qualificar seu objetivo e escopo claramente, identificando quais aspectos da cadeia de causa e efeito ambiental estarão sendo contemplados. Exemplificando, no caso de o foco do estudo ser o impacto na disponibilidade física da água, o estudo deve ser qualificado como de pegada hídrica, com foco em escassez hídrica.

Muitos estudos vêm avaliando a pegada hídrica de produtos agrícolas com foco na escassez hídrica (DE BOER et al., 2013; FIGUEIRÊDO et al., 2014; JEFFERIES et al., 2012; PFISTER, 2010; PFISTER et al., 2011; STOESSEL et al., 2012). Esses estudos apresentam informações relativas à quantidade de água requerida na produção de alimentos e avaliam impactos potenciais na escassez hídrica causados pelo uso da água em diferentes regiões. Pfister et al. (2011) avaliaram os impactos relacionados ao uso da água de mais de 160 produtos agrícolas, considerando as diversas regiões produtoras no mundo. Ridoutt e Pfister (2010) identificaram os principais processos que contribuem para escassez hídrica na cadeia de produção de molho de tomate produzidos na Austrália. Jefferies et al. (2012) avaliaram a pegada hídrica do chá e da margarina, identificando as regiões e processos que mais contribuem para a pegada. Stoessel et al. (2012) avaliaram a pegada hídrica de 34 frutas e vegetais comercializados por uma rede varejista na Suíça, apontando os produtos com maior pegada hídrica. Nesses estudos, buscou-se apontar processos da cadeia de produção agrícola e agroindustrial que devem ser priorizados para redução das pressões sobre os recursos hídricos, utilizando-se estimativas de uso da água nos processos agrícolas.

Apesar do crescente interesse de empresas pela certificação ambiental com foco na pegada hídrica, alguns estudos questionam a aplicabilidade de avaliações de pegada hídrica na melhoria da eficiência do uso da água em uma região. Perry (2014) pondera que a escolha de produtos que apresentam menor pegada hídrica em selos de certificação não garante a redução da escassez em regiões que fornecem água a processos relacionados ao ciclo de vida de um produto. Caso os demais usuários dos recursos hídricos não se tornem também



eficientes no uso da água, o problema da escassez hídrica continuará na região impactada.

Outra ponderação é que mesmo que toda uma cadeia produtiva se torne eficiente no uso da água e garanta a mínima pegada hídrica a um produto, caso as principais regiões provedoras de água sejam semiáridas ou áridas, essa pegada pode ser maior que a do mesmo produto produzido em regiões sem escassez hídrica e sem eficiência no uso da água. No caso do produto com pegada hídrica maior ter consumo reduzido, devido à decisão do consumidor em reduzir o consumo de produtos com maior pegada, toda uma cadeia produtiva que era eficiente no uso da água pode ser desfeita com impactos socioeconômicos negativos em regiões áridas e semiáridas. Não se pode bloquear a implantação de processos produtivos que consomem água nessas regiões, mas devem-se instituir ações políticas que busquem a máxima eficiência do uso da água nesses processos.

Nesse sentido, é importante informar às empresas e consumidores de alimentos e produtos agroindustriais o significado dos valores presentes em selos de pegada hídrica e buscar utilizar esse tipo de estudo na compreensão de ineficiências no uso da água no ciclo de vida de produtos. O estudo realizado por Page et al. (2011) sobre o tomate produzido em várias regiões da Austrália mostra como o estudo da pegada hídrica em conjunto com a análise da eficiência do uso da água podem contribuir para definição de estratégias de produção agrícola mais eficientes no uso desse recurso. O estudo de caso do melão amarelo, com foco na escassez hídrica, apresentado neste capítulo, também avalia a eficiência no uso da água na produção do melão.

## **Inventário ambiental para cálculo da pegada hídrica**

Os parâmetros que devem constar de inventários de ciclo de vida (ICV) variam de acordo com o objetivo do estudo, que pode contemplar uma ou mais categorias de impacto relacionadas ao uso da água. Para estudos amplos, que contemplam várias categorias de impacto, é importante constar as seguintes informações na coleta de dados de cada processo integrante do ciclo de vida de um produto (BAYART et al., 2010; BOULAY et al., 2011a; MILA i CANALS et al., 2009):

- Localização da fonte hídrica: bacia hidrográfica, região e país.
- Tipo de fonte hídrica: superficial (rio, lago, reservatório), subterrânea



(renovável e não renovável/fóssil) ou chuva estocada no solo (água verde).

- Volume consumido: água retirada que não retorna para a mesma bacia hidrográfica depois de utilizada em um processo produtivo. O consumo ocorre devido à água ter evaporado, sido incorporada ao produto, ou sido lançada em outra bacia diferente da provedora do recurso ou no mar.
- Volume retirado: volume de água abstraído de uma fonte hídrica que pode ou não ser totalmente consumido por um processo produtivo.
- Volume retornado: volume de água retornado ao corpo hídrico provedor.
- Qualidade da água retirada: qualidade físico-química da água retirada de um corpo hídrico.
- Qualidade da água retornada: qualidade físico-química da água que retorna ao corpo receptor de origem.
- Carga poluente: massa de poluentes resultante de um processo produtivo capaz de gerar impactos de eutrofização, acidificação e/ou toxicidade.

Boulay et al. (2011a) definiram 17 classes de água (considerando fontes superficiais e subterrâneas e possíveis usuários) e identificaram valores limites de concentração de poluentes para cada classe, considerando 137 parâmetros, tais como coliformes totais e sólidos suspensos, dentre outros. Os usos da água considerados foram: doméstico, industrial, agrícola, refrigeração, recreação, transporte e geração de energia. Essas 17 classes de água podem ser utilizadas para expressar a qualidade da água captada e retornada aos corpos hídricos permitindo avaliações de impactos relacionadas à degradação da qualidade da água que pode comprometer, por exemplo, a produção de alimentos em uma região.

As principais bases de dados para ICV disponíveis não possuem o nível de detalhamento comentado anteriormente. A base de dados Ecoinvent (WEIDEMA et al., 2013), por exemplo, apresenta informações sobre o volume de água removido para um processo, informando somente a origem (desconhecida, barragem, rios, lagos, poços ou mar), o uso da água (processo, resfriamento ou funcionamento de turbinas) e a quantidade de água em produtos. Informações sobre volume e qualidade da água consumida e retornada não estão disponíveis.



Dessa forma, as informações constantes nas bases de dados de inventários tradicionais precisam ser complementadas para o desenvolvimento de estudos de pegada hídrica mais abrangentes.

### **Inventário do uso da água de processos agrícolas**

Processos agrícolas requerem água em quantidades e distribuição variada no tempo e espaço, conforme a cultura em estudo e o clima da região. De acordo com Bayart et al. (2010) e Ridoutt e Pfister (2010), o consumo da água da chuva disponível na camada superficial do solo (água verde) não promove impactos ambientais diretos. Entretanto, o consumo de água oriunda de reservatórios superficiais e subterrâneos para irrigação (água azul) reduz o acesso de outros usuários da bacia hidrográfica ao recurso, podendo gerar escassez hídrica, dependendo das características climáticas e da capacidade de armazenamento de água da região. Assim, o volume de água aplicado na irrigação deve ser determinado, levando-se em consideração os fatores: solo, clima, método de irrigação, bem como a cultura a ser explorada.

#### **Estimativa do volume de água para irrigação de uma cultura**

A necessidade hídrica de uma cultura pode ser estimada por meio de vários métodos recomendados pela FAO (ALLEN et al., 2006). Em regiões onde há monitoramento de dados climáticos como temperatura, velocidade do vento, precipitação, radiação solar, entre outros, a FAO recomenda a utilização da equação de Penman-Monteith, que determina a influência das condições climáticas sobre a evapotranspiração da cultura de referência. Para determinar a evapotranspiração da cultura, utiliza-se o coeficiente de cultivo da cultura ( $K_c$ ), que varia ao longo do seu ciclo de desenvolvimento (Equação 1). Pode-se dizer que o  $K_c$  insere as características da cultura na sua demanda hídrica.

$$ET_c = \sum K_c \times ET_o \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

$K_c$  = coeficiente de cultivo em cada estágio fenológico da cultura.

$ET_o$  = evapotranspiração da cultura de referência.

$ET_c$  = evapotranspiração da cultura no ciclo de cultivo.

Uma opção para regiões que não dispõem de dados climatológicos históricos é a utilização da base de dados AQUASTAT (FAO, 2012), que fornece informações climatológicas e de  $ET_o$  de acordo com as coordenadas geográficas para todas as regiões do mundo.





Dados de  $K_c$  são próprios de cada cultura e da região onde é cultivada. Esses dados estão disponíveis para várias culturas em Allen et al. (2006) e em diversas publicações brasileiras sobre irrigação, como Gondim et al. (2004), que fornece dados de  $K_c$  para várias culturas produzidas no Ceará.

O sistema de irrigação, apesar de não incidir diretamente sobre a necessidade hídrica da cultura, é um importante fator a ser considerado na determinação do volume de água aplicado, pois os diferentes tipos de sistemas de irrigação (gotejamento, aspersão, microaspersão, sulcos, etc.) possuem diferentes percentuais de eficiência de aplicação que influenciam diretamente no cálculo da lâmina líquida (Equação 2) e bruta (Equação 3) de água a ser aplicada na cultura.

$$LL = ET_c - p_{ef} \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que:

LL = lâmina líquida necessária pela cultura.

$p_{ef}$  = precipitação efetiva.

$$LB = \frac{LL}{E_a} \quad (\text{Eq.3})$$

Em que:

LB = lâmina bruta aplicada pelo sistema de irrigação.

$E_a$  = eficiência de aplicação do sistema de irrigação.

Informações sobre como calcular a precipitação efetiva e sobre valores médios de eficiência de aplicação dos sistemas de irrigação podem ser obtidas em Allen et al. (2006) e Gondim et al. (2004).

### **Inventário do uso da água de processos agroindustriais**

Processos agroindustriais também demandam água em atividades de limpeza da matéria-prima, processamento de alimentos, refrigeração, entre outros. Nesses processos, parte do volume de água original retirado de corpos hídricos é retornada, mas com qualidade inferior. Nesses processos, devem-se coletar dados referentes ao volume de água abstraída e retornada, e à qualidade dessas águas (BOULAY et al., 2011a), além de se mensurar a carga poluente dos efluentes.



## Métodos de avaliação de impacto ambiental para estudos de pegada hídrica

Métodos de avaliação de impactos referentes à eutrofização, acidificação e toxicidade aquática já foram amplamente discutidos e estão disponíveis em pacotes metodológicos de AICV (JOINT RESEARCH CENTRE, 2011). Já os métodos que relacionam o consumo e degradação da qualidade da água a impactos referentes à escassez e depleção desse recurso natural, à saúde humana e à qualidade dos ecossistemas são recentes e ainda não estão disponíveis em pacotes metodológicos como ReCiPe, Impact2002+ e outros, disponíveis em diversos softwares de apoio à ACV. Assim, estudos de pegada hídrica dificilmente são executados utilizando apenas um método, requerendo a integração de vários métodos para a consideração dos distintos impactos atribuídos ao uso da água.

Os métodos disponíveis para avaliação de impactos intermediários (ponto médio) e finais (ponto final) relacionados ao uso da água adotam diferentes sistemáticas para derivação de fatores de caracterização. Os principais métodos publicados, o tipo de impacto que avaliam e a disponibilidade de fatores de caracterização para as diversas regiões do mundo estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Métodos de avaliação de impactos referentes ao uso da água.

Método	Fluxo hídrico considerado	Impacto considerado	Fator de caracterização
<b><u>Impactos intermediários</u></b>			
Frischknecht et al. (2006)	- Volume retirado	- Escassez hídrica devido ao consumo de água. Integra a avaliação de impacto dos recursos naturais do método suíço "Ecological Scarcity". Unidade de medida: eco-point/UF <sup>(1)</sup>	- Disponível para a Suíça, para os países da OECD. Fatores disponíveis para outros países de acordo com classe de escassez
Pfister et al. (2009)	- Volume consumido	- Escassez hídrica. Unidade de medida: m <sup>3</sup> /UF <sup>(1)</sup>	- Disponível para bacias hidrográficas e países em todo o mundo

Continua...



Tabela 1. Continuação.

Método	Fluxo hídrico considerado	Impacto considerado	Fator de caracterização
Mila i Canals et al. (2009)	<ul style="list-style-type: none"><li>- Volume consumido de reservas superficiais</li><li>- Volume perdido pela mudança no uso da terra</li><li>- Volume consumido de reservas subterrâneas</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Impacto da escassez hídrica em ecossistemas de água doce. Unidade de medida: m<sup>3</sup> de “ecossistema eq” de água/UF<sup>(1)</sup></li><li>- Impacto na depleção de reservas subterrâneas. Unidade de medida: antimônio eq/UF<sup>(1)</sup></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Disponível para bacias e países</li><li>- Não disponíveis</li></ul>
Ridoutt e Pfister (2010)	<ul style="list-style-type: none"><li>- Volume consumido mais volume necessário para diluição da carga poluente de efluentes líquidos</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Escassez hídrica. Unidade de medida: l/UF<sup>(1)</sup></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Disponível para bacias hidrográficas e países em todo o mundo, de acordo com Pfister et al. (2009)</li></ul>
Boulay et al. (2011b)	<ul style="list-style-type: none"><li>- Volume retirado e volume restituído ao corpo hídrico. Esses volumes são qualificados considerando 17 classes de água</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Disponibilidade para diferentes usos humanos (qualidade e quantidade). Unidade de medida: m<sup>3</sup> eq/UF<sup>(1)</sup></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Disponível para bacias hidrográficas e países em todo o mundo</li></ul>
Pfister e Baumann (2012)	<ul style="list-style-type: none"><li>- Volume consumido</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Escassez hídrica considerando variações mensais na demanda e disponibilidade hídrica. Unidade de medida: m<sup>3</sup>/UF<sup>(1)</sup></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Disponível para bacias hidrográficas e países em todo o mundo</li></ul>
Wulca (2014)	<ul style="list-style-type: none"><li>- Volume consumido</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Escassez hídrica considerando disponibilidade e demandas para uso humano e do ecossistema. Unidade de medida: m<sup>3</sup><sub>região</sub>/m<sup>3</sup><sub>mundo</sub></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Disponível para bacias hidrográficas e países em todo o mundo</li></ul>
<b><u>Impacto final: Saúde humana</u></b>			
Pfister et al. (2009)	<ul style="list-style-type: none"><li>- Volume consumido</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Impacto na saúde humana devido a menor quantidade de água disponível para agricultura irrigada e consequente desnutrição. Unidade de medida: DALY/UF<sup>(1)</sup></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Disponível para bacias hidrográficas e países em todo o mundo</li></ul>

Continua...



Tabela 1. Continuação.

Método	Fluxo hídrico considerado	Impacto considerado	Fator de caracterização
Motoshita et al. (2011)	- Volume consumido	- Impacto na saúde humana devido à ocorrência de doenças de veiculação hídrica quando o acesso à água para consumo doméstico é reduzido. Unidade de medida: DALY/UF <sup>(1)</sup>	- Disponível para países em todo o mundo
Boulay (2011)	- Volume retirado e volume restituído ao corpo hídrico. Esses volumes são qualificados considerando 17 classes de água	- Impacto na saúde humana devido à menor quantidade de água disponível na qualidade requerida para os diferentes usos, considerando a capacidade de adaptação dos usuários. Unidade de medida: DALY/UF <sup>(1)</sup>	- Disponível para bacias hidrográficas e países em todo o mundo
<u>Impacto final: Qualidade dos ecossistemas</u>			
Pfister et al. (2009)	- Volume consumido	- Impacto na qualidade dos ecossistemas pela redução da produção vegetal primária devido à menor disponibilidade de água. Unidade de medida: PDF/UF <sup>(1)</sup>	- Disponível para bacias hidrográficas e países em todo o mundo
Hanafiah et al. (2011)	- Volume consumido	- Impacto na qualidade do ecossistema pela redução do número de espécies aquáticas devido à menor disponibilidade de água. Unidade de medida: PDF/UF <sup>(1)</sup>	- Disponível para bacias hidrográficas em todo o mundo
Van Zelm et al. (2011)	- Volume consumido	- Impacto na qualidade do ecossistema pela redução do número de espécies terrestres devido à menor disponibilidade de água. Unidade de medida: PNOF/UF <sup>(1)</sup>	- Disponível para a Holanda

Continua...



Tabela 1. Continuação.

Método	Fluxo hídrico considerado	Impacto considerado	Fator de caracterização
<b>Impacto final: Depleção de recursos</b>			
Pfister et al. (2009)	- Volume consumido	- Impacto na depleção dos recursos hídricos pelo uso na bacia ser superior à taxa de renovação de água. Calculado considerando a energia necessária para dessalinizar a água na bacia hidrográfica (backup-technology). Unidade de medida: MJ/UF <sup>(1)</sup>	- Disponível para bacias hidrográficas e países em todo o mundo

<sup>(1)</sup>UF = unidade funcional adotada no estudo de ciclo de vida do produto (ver capítulo sobre pegada ambiental); DALY = anos de vida desabilitados ou perdidos (*disability adjusted life years*); PDF = fração de espécies potencialmente desaparecida (*potentially disappeared fraction of species*); PNOF = fração de espécies de plantas potencialmente não ocorrentes ou extintas (*potentially not occurring fraction of plant species*); MJ = energia extra necessária à extração de água (*surplus energy*).

Com exceção do método proposto por Boulay et al. (2011b), os demais avaliam o impacto intermediário sobre a escassez hídrica de uma região, considerando apenas o consumo de água. Esses métodos apresentam fatores de caracterização baseados na relação entre retirada (ou consumo) e disponibilidade hídrica em bacias hidrográficas. Porém, essa relação é utilizada de diferentes formas (Tabela 2) no cálculo dos fatores de caracterização, com resultados expressos em diferentes unidades de medida ( $m^3$ ,  $m^3$  equivalente,  $m^3$  de ecossistema equivalente). Nesses casos, é necessário agregar outros métodos de AICV de ponto médio que permitam avaliar também os impactos relacionados à degradação da água (e.g.: eutrofização e toxicidade).

Os métodos de AICV relacionados ao uso da água podem ser complementares, quando cada método está focado em determinada causa e efeito ambiental (Tabela 1). Entretanto, é importante a realização de uma avaliação comparativa desses métodos no estudo de ciclo de vida de um produto (KOUNINA et al., 2013). Dependendo do método utilizado para avaliação de impacto, diferentes fluxos (Tabela 1) podem ser considerados no inventário e diferentes fatores de caracterização (Tabela 2) podem ser empregados na avaliação de um processo, gerando resultados de pegada hídrica diferentes para um mesmo sistema de produto. Essa situação requer um estudo comparativo



critérios desses métodos com indicação daqueles mais adequados ao estudo da pegada hídrica de produtos. Essa indicação é de especial relevância quando uma instituição promotora do estudo almeja tornar públicos os resultados, informando consumidores por meio de certificações ambientais e selos verdes.

**Tabela 2.** Métodos para cálculo de fatores de caracterização para impactos de ponto médio.

Método	Fator de caracterização	Impacto intermediário de um processo unitário
Frischknecht et al. (2006)	<p>Fator (para água) = <math>K \cdot (1/F_n) \cdot [F/(F_c \cdot 20\%)]^2 \cdot c</math></p> <p>Em que:</p> <p>K = fator de caracterização do recurso natural (no caso da água é 1);</p> <p>F<sub>n</sub> = quantidade de água retirada de corpos hídricos no país que realiza o estudo. Normaliza o valor tomando como referência o país que realiza o estudo.</p> <p>F = quantidade de <u>de água</u> anual <u>retirada</u> na região onde o processo em estudo está localizado.</p> <p>F<sub>c</sub> = quantidade de água anual <u>disponível</u> na região onde o processo em estudo está localizado.</p> <p>C = constante que é igual a 10<sup>12</sup>.</p>	Impacto = Volume retirado de água * Fator
Pfister et al. (2009)	<p>Fator = <math>1/[1+e^{-6.4 \cdot WTA} \cdot (1/0.01-1)]</math></p> <p>Em que:</p> <p>WTA = <u>retirada</u> anual de água / <u>disponibilidade</u> anual de água de uma bacia ou país</p>	Impacto = Volume consumido * Fator
Mila i Canals et al. (2009)	<p>Fator para “impacto em ecossistemas de água doce” = <u>retirada anual de água</u> / <u>disponibilidade anual de água</u></p> <p>Fator para “impacto na depleção hídrica” = <math>[ER-RR/(R)^2] \cdot [(Rsb)^2/DRsb]</math></p> <p>Em que:</p> <p>ERi = taxa de extração de água na reserva subterrânea.</p> <p>RRi = taxa de regeneração na reserva subterrânea.</p> <p>Ri = volume de água disponível na reserva subterrânea.</p> <p>Rsb = reserva disponível do semimetal antimônio (Sb).</p> <p>DSsb = taxa de exploração do semimetal antimônio (Sb).</p>	Impacto = Volume consumido * Fator
Ridoutt e Pfister (2010)	Fator definido por Pfister et al. (2009), porém expresso em m <sup>3</sup> equivalente (m <sup>3</sup> -eq) de água.	Impacto = (Volume consumido + volume para diluição) * Fator

Continua...



**Tabela 2.** Continuação.

Método	Fator de caracterização	Impacto intermediário de um processo unitário
Boulay et al. (2011b)	<p>Fator = <math>\alpha_i = [CU*(1-fg)/Q90]*(1/Pi)</math> para fonte superficiais de água</p> <p>Fator = <math>\alpha_i = (CU*fg/GWR)*(1/Pi)</math> para fontes de água subterrâneas</p> <p>Em que:</p> <p><math>\alpha_i</math> = índice de stress hídrico da classe i (17 classes são propostas) de uma determinada bacia ou país.</p> <p>CU = volume de água <u>retirado</u> no ano (km<sup>3</sup>/ano).</p> <p>fg = fração da água consumida proveniente de reservas subterrâneas.</p> <p>Q90 = <u>disponibilidade</u> de água com 90% de segurança (km<sup>3</sup>/ano)+</p> <p>Pi = Percentual da água disponível na bacia que tem qualidade pertencente a classe i.</p> <p>GWR = volume de água disponível na bacia proveniente de reservas subterrâneas renováveis (km<sup>3</sup>/ano).</p>	<p>Impacto = <math>\sum (\alpha_i * V_{i,in}) - \sum (\alpha_i * V_{i,out})</math></p> <p>Em que:</p> <p><math>V_{i,in}</math> = volume (m<sup>3</sup>) de água retirado por um processo elementar, da classe i (17 classes são propostas).</p> <p><math>V_{i,out}</math> = volume (m<sup>3</sup>) de água retornado por um processo elementar, da classe i (17 classes são propostas).</p>
Pfister e Baumann (2012)	<p>Fator<sub>m</sub> = <math>1/[1+e^{9.8*WTA-m}*(1/0.01-1)]</math></p> <p>Em que:</p> <p>WTA-m = <u>retirada mensal de água / disponibilidade mensal de água</u></p>	<p>Impacto = Volume consumido mensal * Fator mensal</p>
Wulca (2014)	<p>- Fator = <math>AMD_{média\_mundial} / AMD_{região}</math> quando Demanda &lt; Disponibilidade.</p> <p>- Fator = 100, quando Demanda ≥ Disponibilidade ou <math>AMD_{região} &lt; AMD_{média\_mundial} / 100</math>.</p> <p>- Fator = 0,1, quando <math>AMD_{região} &gt; 10 * AMD_{média\_mundial}</math></p> <p>Em que: <math>AMD = (Disponibilidade - Demanda_{humana+ecossistema}) / Área</math>.</p>	<p>Impacto = Volume consumido na região * Fator da região</p>

## Estudo da pegada hídrica do melão Amarelo com foco na escassez hídrica

Este estudo de caso apresenta a pegada hídrica do melão amarelo com foco na escassez. O melão em estudo é o cultivado para fins de exportação na região do Baixo Jaguaribe (RBJ), entre os estados do Ceará e Rio Grande do Norte. O estudo detalhado encontra-se em Figueirêdo et al. (2014).



Neste estudo, os processos unitários considerados abrangem locais que ocorrem na RBJ (produção de mudas, produção vegetal, embalagem e disposição de resíduos sólidos oriundos da produção de melão), os processos que ocorrem antes ou a montante da produção agrícola (produção de insumos agrícolas e transporte desses materiais) e os processos que ocorrem após ou a jusante da produção agrícola (transporte de melões para o mercado europeu). Insumos agrícolas incluem sementes, substrato de coco, agrotóxicos, plásticos, papéis para embalagem, diesel, eletricidade, materiais de limpeza e água.

Os dados referentes ao uso de insumos, incluindo água, foram coletados, no período 2010-2011, por meio de questionários e entrevistas aplicados a gerentes de unidades produtoras de melão e mudas na RBJ. Os gerentes foram questionados sobre o volume de água de irrigação aplicado em campos de melão durante cada mês do período de cultivo (julho a janeiro). A avaliação da pegada é relativa a um quilo de melão amarelo exportado para a Europa. O índice de escassez hídrica (WTA) definido por Pfister et al. (2009) e Pfister e Baumann (2012) foi utilizado no cálculo da pegada. O valor da pegada final do melão é normalizado pelo PH global de 0,602 (RIDOUTT; PFISTER, 2010). Assim, a pegada hídrica do melão é normalizada pelo valor da pegada global do consumo de um litro de água no planeta.

Observou-se que um volume total de água de 198 L é consumido para produzir e exportar um quilo de melão na RBJ, considerando todos os processos unitários envolvidos nessa produção (Tabela 3). Cerca de 98% desse volume é usado diretamente na irrigação do melão em campo aberto e 1,5% na produção de sementes, mudas e embalagem do melão. Uma quantidade insignificante de água (0,5%) é consumida pelos demais processos de produção dos insumos necessários à produção de sementes, mudas, melão e embalagens (agroquímicos, plásticos, papéis, substratos, combustível e energia elétrica).

A pegada hídrica do melão amarelo é de 135 L H<sub>2</sub>O-eq/kg (Tabela 3). Esse valor é dominado pela água consumida (AC) da produção em campo aberto, pois o WTA médio da RBJ (0,404) é menor do que em outras regiões em que os demais processos produtivos estão localizados (por exemplo, a produção de fertilizantes está localizada principalmente no Chile, Portugal e Israel com um WTA médio de 0,710).

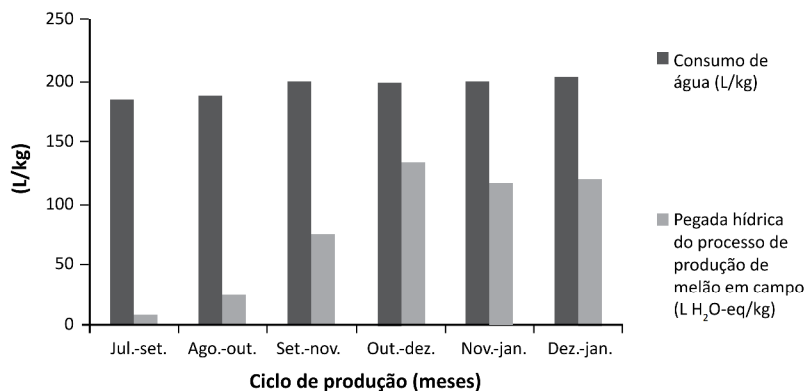




**Tabela 3.** Impacto do melão Amarelo na disponibilidade de água doce na situação de referência por processo.

Processos	Volume consumido (L/kg)	Volume consumido (%)	Escassez hídrica (L/kg)	Escassez hídrica (%)
Empacotamento	0,15	0,08	0,06	0,04
Produção de melão	195,14	98,61	80,15	98,32
Produção de mudas	0,05	0,03	0,02	0,02
Produção de sementes	0,09	0,05	0,04	0,03
Produção de papéis	0,72	0,36	0,38	0,28
Produção de plásticos	0,41	0,21	0,14	0,10
Produção de fertilizantes	1,02	0,51	0,72	0,53
Produção de agrotóxicos	0,11	0,05	0,00	0,00
Produção de energia elétrica (BR)	0,04	0,02	0,00	0,00
Produção de diesel	0,03	0,01	0,00	0,00
Produção de substrato de coco	0,0002	0,00	0,00	0,00
Produção de materiais de limpeza	0,15	0,07	0,00	0,00
Total (L/kg)	197,90	100,00	81,51	100,00
Pegada hídrica (L H <sub>2</sub> O-e/kg)	-	-	135,40	-

No entanto, a pegada do melão Amarelo varia de acordo com o período de cultivo na RBJ (17-224 L H<sub>2</sub>O-eq/kg na Figura 2). Isso ocorre devido, principalmente, às mudanças no WTA dessa região (0,05 para julho-setembro e 0,60 para outubro-dezembro).

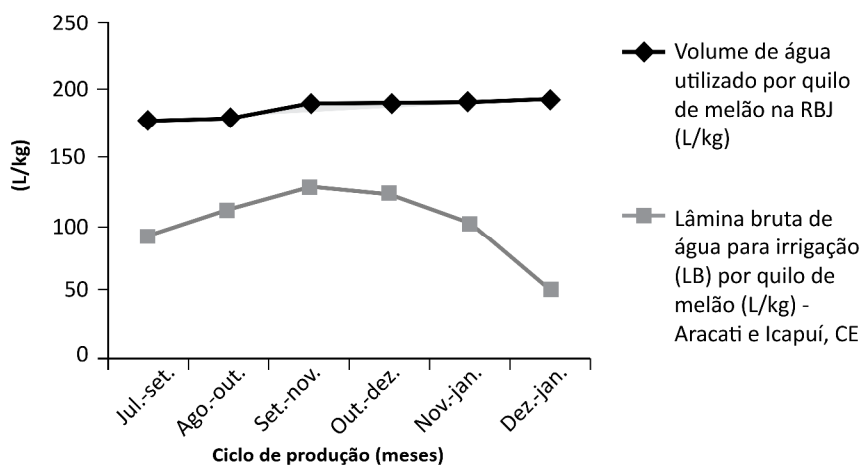


**Figura 2.** Impacto da produção de melão Amarelo em campos abertos de acordo com o período de produção na estação de crescimento no Baixo Jaguaribe e região do Açu, Brasil.



O volume médio de água de irrigação por quilo de melão, informado pelos gerentes de fazendas produtoras de melão, foi então comparado com a exigência total de água de irrigação – lâmina bruta (LB) por quilo de melão. A LB foi calculada para o melão produzido nos municípios de Mossoró, Baraúna, Grossos e Tibau na RBJ.

Observou-se que a irrigação excessiva ocorre em todos os períodos de produção (Figura 3). Campos de melão cultivados de setembro a novembro, ou seja, em um dos períodos mais secos que necessitam de mais água de consumo, receberam 39% a mais de água do que o necessário. Em períodos que exigem menos irrigação, ou seja, de dezembro a fevereiro, aplicou-se até 160% a mais de água. A irrigação na Figura 3 variou mensalmente devido às mudanças na temperatura e velocidade do vento na RBA, causando alteração nos valores de ETo.



**Figura 3.** Água utilizada na irrigação pelos agricultores e lâmina bruta de água estimada para diferentes períodos de produção da estação de crescimento na região de Aracati e Icapuí, CE.

A pegada hídrica do processo de produção de melão foi calculada utilizando o consumo médio de água relatado pelos agricultores da RBJ, considerando o rendimento de 23 t de melão/ha (situação de referência) e a eficiência de irrigação de 68%. Entretanto, foram explorados outros cenários de produção, com mudanças no consumo de água, eficiência de irrigação e produtividade do melão.



- Cenário 1: o consumo de água é igual à exigência total bruta de água de irrigação (LB), a produtividade é de 23 t/ha e a eficiência do sistema é de 68%.
- Cenário 2: o consumo de água é igual à exigência total de água de irrigação (LB), a produtividade é de 23 t/ha e a eficiência do sistema é de 86%.
- Cenário 3: o consumo de água é igual à exigência total de água de irrigação (LB), a produtividade é de 40 t/ha (máxima relatada na RBJ) e a eficiência do sistema é de 86%.

Analisando esses cenários de produção, observou-se que a pegada hídrica do melão pode ser reduzida em 40% em relação à situação de referência, se o volume de água utilizado é de acordo com o estimado (LB) e o rendimento obtido é de 23 t / ha (cenário 1). Se a eficiência do sistema de irrigação melhorar para 86% (cenário 2), a pegada pode ser reduzida em 52%. Além disso, uma redução de 73% na pegada pode ocorrer quando o cenário 3 é praticado.

## Considerações finais

Estudos apresentando a pegada hídrica de alimentos serão cada vez mais requisitados, seja por consumidores preocupados com a consequência do uso ineficiente da água, seja por governos interessados em melhorar o acesso a esse recurso, seja por produtores que almejam a certificação ambiental de seus produtos ou redução nos custos associados ao uso da água. Entretanto, é importante atentar para o conceito de pegada hídrica que afeta diretamente a abrangência desses estudos.

O debate científico e governamental atual mostra a importância de se considerar todos os processos relacionados ao ciclo de vida de um produto em estudos de pegada hídrica. Também é ressaltada a necessidade de se considerar o consumo e a degradação de qualidade das águas nesses estudos, informando os diversos impactos ambientais associados à cadeia de causa e efeito do uso da água.

Muitos métodos de AICV estão disponíveis para diversas categorias de impacto relacionadas ao uso da água, podendo ser utilizados conjuntamente em estudos de pegada hídrica. A escolha dos métodos deve observar o objetivo que se almeja atingir: comparar produtos e processos produtivos alternativos



para a geração de um produto ou identificar ineficiências com possibilidades de melhorias.

Para estudos voltados à identificação de oportunidades de melhorias, métodos de avaliação intermediários podem ser mais simples de utilizar, com resultados mais fáceis de interpretar. Métodos de avaliação de impactos finais que afetam a saúde humana e a qualidade dos ecossistemas costumam gerar maiores incertezas nos resultados, devido à maior complexidade dos modelos adotados, embora muitos métodos disponibilizem fatores de caracterização em nível de bacia hidrográfica para todo o mundo. Entretanto, seja qual for a abordagem metodológica escolhida, deve-se claramente apresentar o objetivo, escopo e aspectos da cadeia de causa e efeito ambiental contemplados.

## Referências

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 2006. (Estudio FAO riego y drenaje 56).

BAYART, J. B.; LOUISE, C.; DESCHÊNES, L.; MARGNI, M.; PFISTER, S.; VINCE, F.; KOEHLER, A. A framework for assessing off-stream freshwater use in LCA. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 15, p. 439-453, 2010.

BOULAY, A. M.; BOUCHARD, B.; BULLE, C.; DESCHÊNES, L.; MARGNI, M. Categorizing water for LCA inventory. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 16, p. 639-651, 2011a.

BOULAY, A. M.; BULLE, C.; BAYART, J. P.; DESCHÊNES, L.; MARGNI, M. Regional Characterization of freshwater use in LCA: modeling direct impacts on human health. **Environmental Science & Technology**, v. 45, p. 8948-8957, 2011b.

CHAPAGAIN, A. K.; HOEKSTRA, A. Y. **Water footprint of nations**. Delft: UNESCO, 2004. (Research report series, n. 16).

DE BOER, I. J. M.; HOVING, I. E.; VELLINGA, T. V.; VAN DE VEN, G. W. J.; LEFFELAAR, P. A.; GERBER, P. J. Assessing environmental impacts associated with freshwater consumption along the life cycle of animal products: the case of Dutch milk production in Noord-Brabant. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18, n.1, p. 193-203, 2013.

DELOITTE. **Collective responses to rising water challenges**. Londres: Carbon Disclosure Project, 2012.

ENVIRONMENT MANAGEMENT GROUP. **Global drylands: a UN system-wide response**. Genebra: United Nations, 2011. Disponível em: <<http://www.unccd.int/Lists/>



SiteDocumentLibrary/Publications/Global\_Drylands\_Full\_Report.pdf>. Acesso em: 11 dez. 2012.

FAO. **Climate information tool**. 2012. Disponível em: <<http://www.fao.org/nr/water/aquastat/climateinfotool/index.stm>>. Acesso em: 21 dez. 2012.

FAO. **Global agriculture towards 2050**. Rome: FAO, 2009.

FIGUEIRÊDO, M. C. B.; DE BOER, I. J. M.; KROEZE, C.; BARROS, V. S.; SOUSA, J. A.; ARAGÃO, F. A. S.; GONDIM, R. S.; POTTING, J. Reducing the impact of irrigated crops on freshwater availability: the case of Brazilian yellow melons. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 19, p. 437-448, 2014.

FRISCHKNECHT, R.; STEINER, R.; BRAUNSCHWEIG, A.; EGLI, N.; HILDESHEIMER, G. **Swiss ecological scarcity method: the new version 2006**. Suíça: Swiss Federal Office for the Environment, 2006.

GONDIM, R. S.; REGO, J. L.; TEIXEIRA, A. S.; BARBOSA F. C.; PEREIRA, P. M.; COSTA. C. A. C. **Guia para Estimativa de Demanda Hídrica para Outorga e Uso da Água de Irrigação no Baixo Jaguaribe**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2004. (Embrapa Agroindústria Tropical, Documentos 94).

HANAFIAH, M.; XENOPOULOS, M.; PFISTER, S.; LEUVEN, R. S.; HUIJBREGTS, M. Characterization factors for water consumption and green-house gas emissions based on freshwater fish species extinction. **Environmental Science & Technology**, v. 45, n. 12, p.5272-5278, 2011.

HOEKSTRA, A. Y. Virtual water trade. In: INTERNATIONAL EXPERT MEETING ON VIRTUAL WATER TRADE. **Proceedings...** Delft: IHE, 2003. (Research Report Series No. 12).

HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K.; ALDAYA, M. M.; MEKONNEN, M. M. **The Water Footprint Assessment Manual Setting the Global Standard**. Londres: Earthscan, 2011.

INTERNATIONAL PAINEL ON CLIMATE CHANGE. **Guidelines for national greenhouse gas inventories**. Geneva, 2006. Disponível em: [http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/0\\_Overview/V0\\_1\\_Overview.pdf](http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/0_Overview/V0_1_Overview.pdf)>. Acesso em: 22 set. 2012.

INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE (IUCN); WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (WBCSD). **Water for business: initiatives guiding sustainable water management in the private sector**. Genebra, 2011.

ISO. International Organization for Standardization. **ISO 14046 - environmental management – water footprint – principles, requirements and guidelines**. Genebra, 2014. Disponível em: <<http://www.bsigroup.com/en-GB/ISO-14046-Water-footprint-Principles-requirements-and-guidelines/>>. Acesso em: 22 set. 2015.

JEFFERIES, D.; MUÑOZ, I.; HODGES, J.; KING, V.J.; ALDAYA, M.; ERCIN, A. E.; MILÀ I CANALS, L.; HOEKSTRA, A. Y. Water footprint and life cycle assessment as approaches to assess potential



impacts of products on water consumption: key learning points from pilot studies on tea and margarine. **Journal of Cleaner Production**, v. 33, p. 155-166, 2012.

JOINT RESEARCH CENTRE; INSTITUTE FOR ENVIRONMENT AND SUSTAINABILITY. International Reference Life Cycle Data System (ILCD) **Handbook**: recommendations for life cycle impact assessment in the European context. Luxemburg: Publications Office of the European Union, 2011.

KOUNINA, A.; MARGNI, M.; BAYART, J. B.; BOULAY, A. M.; BERGER, M.; BULLE, C.; FRISCHKNECHT, R.; KOEHLER, A.; MILÀ I CANALS, L.; MOTOSHITA, M.; NÚÑEZ, M.; PETERS, G.; PFISTER, S.; RIDOUTT, B.; ZELM, R.; VERONES, F.; HUMBERT, S. Review of methods addressing freshwater use in life cycle inventory and impact assessment. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18, p. 707-721, 2013.

MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. A Global assessment of the water footprint of farm animal products. **Ecosystems**, v. 15, p. 401-415, 2012.

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. 15, p. 1577-1600, 2011.

MILÀ I CANALS, L.; CHENOWETH, J.; CHAPAGAIN, A.; ORR, S.; ANTÓN, A.; CLIFT, R. Assessing freshwater use impacts in LCA: part I – inventory modelling and characterisation factors for the main impact pathways. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 14, n. 1, p. 28-42, 2009.

MOTOSHITA, M.; ITSUBO, N.; INABA, A. Development of impact factors on damage to health by infectious diseases caused by domestic water scarcity. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 16, p.65-73, 2011.

PAGE, G.; RIDOUTT, B.; BELLOTTI, B. Fresh tomato production for the Sydney market: An evaluation of options to reduce freshwater scarcity from agricultural water use. **Agricultural Water Management**, v. 100, p. 18-24, 2011.

PERRY, C. Water footprints: path to enlightenment, or false trail? **Agricultural Water Management**, v. 134, p. 119-125, 2014.

PFISTER, S.; BAUMANN, J. Monthly characterization factors for water consumption and application to temporally explicit cereals inventory. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON LCA IN THE AGRI-FOOD SECTOR, 8., Rennes, France, 2012. **Proceedings...** Saint-Malo: National Institute for Agricultural Research, 2012.

PFISTER, S.; KOEHLER, A.; HELLWEG, S. Assessing the environmental impact of freshwater consumption in LCA. **Environmental Science & Technology**, v. 43, p. 4098-4104, 2009.

PFISTER, S.; BAYER, P.; KOEHLER, A.; HELLWEG, S. Environmental impacts of water use in global crop production: hotspots and trade-offs with land use. **Environmental Science & Technology**, v. 45, p. 5761-5768, 2011.



RAIMBAULT, M.; HUMBERT, S. **ISO considers potential standard on water footprint**. 2011. Disponível em: <[http://www.iso.org/iso/isofocusplus\\_bonus\\_water-footprint](http://www.iso.org/iso/isofocusplus_bonus_water-footprint)>. Acesso em: 13 fev. 2012.

RIDOUTT, B. G.; PFISTER, S. A new water footprint calculation method integrating consumptive and degradative water use into a single stand-alone weighted indicator. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18, n. 1, jan. 2012.

RIDOUTT, B. G.; PFISTER, S. A revised approach to water footprinting to make transparent the impacts of consumption and production on global freshwater scarcity. **Global Environmental Change**, v. 20, p. 113-120, 2010.

STOESSEL, F.; JURASKE, R.; PFISTER, S.; HELLWEG, S. Life cycle inventory and carbon and water footprint of fruits and vegetables: application to a swiss retailer. **Environmental Science & Technology**, v. 46, p. 3253-3262, 2012.

TURRAL, H.; BURKE, J.; FAURÈS, J. M. **Climate change, water and food security**. Roma: FAO, 2011. (FAO. Water reports, 36).

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). **Measuring water use in a green economy**. Paris: International Resource Panel Working Group on Water Efficiency, 2012.

VAN ZELM, R.; SCHIPPER, A. M.; ROMBOUTS, M.; SNEPVANGERS, J.; HUIJBREGTS, M. A. J. Implementing groundwater extraction in life cycle impact assessment: characterization factors based on plant species richness for the Netherlands. **Environmental Science & Technology**, v. 45, n. 2, p. 629-635, 2011.

WATER FOOTPRINT NETWORK. **Product gallery**. Disponível em: <<http://waterfootprint.org/en/resources/interactive-tools/product-gallery/>>. Acesso em: 22 dez. 2015.

WEIDEMA, B. P.; BAUER, C.; HISCHIER, R.; MUTEL, C.; NEMECEK, T.; REINHARD, J.; VADENBO, C. O.; WERNET, G. **Overview and methodology: data quality guideline for the ecoinvent database version 3**. St. Gallen: The Ecoinvent Centre, 2013. (Ecoinvent Report. n. 1, v3). Disponível em: <[http://www.ecoinvent.org/files/dataqualityguideline\\_ecoinvent\\_3\\_20130506.pdf](http://www.ecoinvent.org/files/dataqualityguideline_ecoinvent_3_20130506.pdf)>. Acesso em: 21 nov. 2015.

WULCA. Working Group on Water Use in LCA. **The AWARE method**. 2014. Disponível em: <<http://www.wulca-waterlca.org/project.html>>. Acesso em: 21 jun. 2016.