

**PEGADA HÍDRICA NO BRASIL: ESTADO DA ARTE E SUAS INTERRELAÇÕES
COM A AGRICULTURA E O MEIO AMBIENTE**

**WATER FOOTPRINT IN BRAZIL: STATE OF THE ART AND ITS
INTERRELATIONS WITH AGRICULTURE AND THE ENVIRONMENT**

**HUELLA HÍDRICA EN BRASIL: ESTADO DEL ARTE Y SUS
INTERRELACIONES CON LA AGRICULTURA Y EL MEDIO AMBIENTE**



10.56238/edimpecto2025.090-042

Miguel Aparecido Risson Coppo

Doutorando em Agronomia

Instituição: Universidade Estadual de Maringá, Campus sede – UEM

E-mail: miguelcoppo@gmail.com

Pedro Luan Ferreira da Silva

Doutorando em Agronomia

Instituição: Universidade Estadual de Maringá, Campus sede – UEM

E-mail: pedroluanferreira@gmail.com

Jorge Wilian de Souza dos Santos

Doutorando em Agronomia

Instituição: Universidade Estadual de Maringá, Campus sede – UEM

E-mail: jorge_willian_123@hotmail.com

Antônio Marcos Azevedo Batista

Doutorando em Agronomia

Instituição: Universidade Estadual de Maringá, Campus sede – UEM

E-mail: aazevedobatista@gmail.com

Marina de Andrade Nogueira

Acadêmica do curso de Agronomia

Instituição: Universidade Estadual de Maringá, Campus sede – UEM

E-mail: ra128021@uem.br

Ingrid Irani de Freitas Luiz

Acadêmica do curso de Agronomia

Instituição: Universidade Estadual de Maringá, Campus sede – UEM

E-mail: ra137449@uem.br

Roberto Rezende

Doutor

Instituição: Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Campus sede - UEM

E-mail: rrezende@uem.br

RESUMO

A pegada hídrica é uma ferramenta utilizada para avaliar as necessidades de água para os vegetais, os fluxos de água relacionados ao comércio desses produtos e a quantidade de água doce necessária para diluir poluentes no sistema solo. Sendo assim, o objetivo desta revisão sistemática foi aprofundar os conceitos sobre pegada hídrica e os termos: água azul, água verde, água cinza e discutir soluções para escassez de água frente a produção de alimentos. A revisão foi realizada através de uma abordagem sistemática em três etapas: etapa 1: Planejamento e formalização da pesquisa via formalização de estudo; Etapa 2: Execução da pesquisa segundo o protocolo de estudo; Etapa 3: Sumarização dos dados coletados. Os artigos foram compilados de bases de dados de alto impacto a exemplo das: Pubmed, SciELO, Google Scholar, Science Direct, Scopus, Redalyc, Portal de Periódicos Capes, Latindex e Agris-FAO. Os termos utilizados na busca foram: Pegada hídrica e Water footprint. Os parâmetros água azul, água virtual e água cinza são os mais constantemente citados na avaliação da sustentabilidade hídrica das regiões e da produção de alimentos. A água cinza foi relacionada aos efluentes domésticos e a água proveniente da solubilização de poluentes. No caso de ambientes semiáridos, a água cinza destaca-se como uma ferramenta de grande importância na avaliação da sustentabilidade e como ponto de partida para a escolha de espécies mais adaptadas às condições climáticas com déficit hídrico.

Palavras-chave: Água Azul. Água Cinza. Água Verde. Água Virtual. Escassez de Água.

ABSTRACT

The water footprint is a tool used to assess water needs for vegetables, water flows related to trade in these products and the amount of fresh water needed to dilute pollutants in the soil system. Therefore, the objective of this systematic review was to deepen the concepts of water footprint and the terms: blue water, green water, gray water and discuss solutions for water scarcity in the face of food production. The review was carried out through a systematic approach in three stages: step 1: Planning and formalization of the research via study formalization; Step 2: Execution of the research according to the study protocol; Step 3: Summarize the collected data. The articles were compiled from high impact databases such as: Pubmed, SciELO, Google Scholar, Science Direct, Scopus, Redalyc, Portal de Periódicos Capes, Latindex and Agris-FAO. The terms used in the search were: Water footprint and Water footprint. The parameters blue water, virtual water and gray water are the most frequently cited in the assessment of water sustainability in the regions and food production. Gray water was related to domestic effluents and water from solubilization of pollutants. In the case of semi-arid environments, gray water stands out as a tool of great importance in assessing sustainability and as a starting point for choosing species more adapted to climatic conditions with water deficit.

Keywords: Blue Water. Gray Water. Green Water. Virtual Water. Water Scarcity.

RESUMEN

La huella hídrica es una herramienta utilizada para evaluar las necesidades de agua de las plantas, los flujos de agua relacionados con el comercio de estos productos y la cantidad de agua dulce necesaria para diluir los contaminantes en el suelo. Por lo tanto, el objetivo de esta revisión sistemática fue profundizar en los conceptos de huella hídrica y los términos agua azul, agua verde y agua gris, así como analizar soluciones para la escasez de agua en el contexto de la producción de alimentos. La revisión se llevó a cabo mediante un enfoque sistemático en tres etapas: Etapa 1: Planificación y formalización de la investigación mediante la formalización del estudio; Etapa 2: Ejecución de la investigación según el protocolo del estudio; Etapa 3: Resumen de los datos recopilados. Los artículos



se obtuvieron de bases de datos de alto impacto como PubMed, SciELO, Google Scholar, Science Direct, Scopus, Redalyc, Portal de Periódicos Capes, Latindex y Agris-FAO. Los términos utilizados en la búsqueda fueron: Huella hídrica y Huella hídrica. El agua azul, el agua virtual y las aguas grises son los parámetros más citados en la evaluación de la sostenibilidad hídrica en regiones y en la producción de alimentos. Las aguas grises se han vinculado a las aguas residuales domésticas y al agua resultante de la solubilización de contaminantes. En entornos semiáridos, las aguas grises se destacan como una herramienta fundamental para evaluar la sostenibilidad y como punto de partida para la selección de especies mejor adaptadas a condiciones climáticas con déficit hídrico.

Palabras clave: Agua Azul. Aguas Grises. Agua Verde. Agua Virtual. Escasez de Agua.

1 INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos são considerados um fator de produção muito importante para as atividades agrícolas e industriais (Castro, 2012). O uso da água é proporcional ao padrão de consumo da humanidade. Com o crescimento populacional, cresce também a demanda por alimentos. Mas não apenas alimentos comuns, alimentos de qualidades superiores. Para tal, a água se torna um elemento limitante e essencial nessa produção.

O constante aumento na demanda por alimentos, aumenta a pressão nas terras e nas fontes de água existentes no mundo. As tecnologias têm contribuído para problemas de nutrição, mas a água continua sendo um fator limitante de produção. A cada ano que se passa a população aumenta, os padrões de vida mudam, e área da agricultura irrigada aumenta, tornando a água cada vez mais escassa. A escassez de água, diz respeito à condição em que a demanda por água que pode ser utilizada para consumo, ultrapasse a disponibilidade. Essa condição, afeta principalmente países menos desenvolvidos, e a produção de alimentos no geral.

De acordo com Paz et al. (2000) a agricultura demanda cerca de 70% da água superficial do mundo. Tal demanda, é explicada principalmente pela utilização de irrigação. Christofidis (2002) ainda diz que 42% dos alimentos consumidos mundialmente advém de áreas irrigadas. As áreas que se localizam em regiões onde o clima é seco, a irrigação chega a ser responsável por 50 a 85% de consumo dos recursos hídricos disponíveis (Capra & Scicolone, 2004).

Neste sentido, é necessário conhecer os gastos dos recursos hídricos e a poluição advinda da produção de bens de consumo, sobretudo daquelas de uso intensivo de água, como é a situação das commodities agrícolas (Ercin; Aldaya; Hoekstra, 2012). Uma maneira de medir o consumo dos recursos hídricos é por meio da “pegada hídrica”, que propicia o exame da conexão entre o consumo humano e a apropriação mundial de água doce. A pegada hídrica é uma ferramenta desenvolvida para o cálculo da água necessária para a produção de commodities, que representam o volume anual total de água utilizada para produzir bens e serviços relacionados ao consumo. Conceito este, introduzido por Hoekstra e Hung (2002), como um indicador para mapear o impacto do consumo humano em recursos globais de água doce.

A pegada hídrica de um produto é a agregação da quantidade de água consumida diretamente ou indiretamente para produção de um determinado bem (Hoekstra et al., 2009). Para o cálculo da pegada hídrica de uma cultura, deve ser considerado três componentes: a água verde, água azul, e água cinza. A água azul é tida como a água advinda de aquíferos e corpos d’água, água doce disponível para consumo humano. Enquanto água verde pode ser definida como a água presente nos solos, na umidade dos mesmos, que são disponíveis às plantas. A água cinza seria a água poluída ou residual que pode ser purificada para ser utilizada novamente.

No caso de produções agrícolas, a escassez da água verde, diz respeito a um período sem chuvas, onde a quantidade de água presente no sistema não satisfaz as necessidades da produção, pelo menos uma parte do ano. De forma que, a irrigação se faz necessária para a produção. A escassez da água azul (EAA) ocorre em áreas onde ocorre a escassez da água verde (EAV), onde a água disponível e renovável não é suficiente para suprir a quantidade de água requerida pela irrigação. A água renovável pode ser definida, desta forma, como a quantidade de água que pode ser retirada do sistema, sem que haja um esgotamento de águas subterrâneas ou fluxos ambientais. De forma que se utilize a irrigação de forma sustentável, atendendo as necessidades da produção.

Outro conceito importante para água utilizada na agricultura é a “Escassez econômica de água” (EEA). O EEA, diz respeito a uma situação em que não há EAA, mas a falta de incentivos econômicos, e desenvolvimentos estruturais, limita a utilização dessa água. Desta forma, temos a definição de “Escassez de água agrícola”, que é a condição onde há EAV em áreas de cultivo, e elas não são irrigadas, mesmo com a presença de água suficiente para irrigação próximo ao local. O desenvolvimento sustentável parte do princípio de produzir mais com a utilização de menos insumos. A água é insumo para a maioria dos produtos produzidos pela humanidade, construção, carros, produção de alimentos. Com isso, vem a necessidade cada vez maior de se utilizar esse recurso racionalmente.

Com o aumento da demanda de água por indústrias e regiões, a água é desviada da irrigação para suprir tal demanda, de forma que a produção menor de alimentos é compensada pela importação. É considerada uma forma de se “importar” água, tendo em vista que uma tonelada de grãos, representa uma tonelada de água (quantidade necessária para a produção). No entanto, se a água que temos disponível não for bem administrada, a produção de alimentos será cada vez menor, de forma que essa escassez acarretará na falta de alimentos (Brown, 2001).

O Brasil, apesar de apresentar grande disponibilidade de água, no panorama geral, apresenta uma distribuição desigual desse recurso. De forma que, enquanto a região Norte possui 70% dos recursos hídricos, a região Nordeste possui a menor proporção, em torno de 3,30% (Augusto et al., 2012). Algumas regiões no Nordeste brasileiro, são caracterizadas por enfrentarem problemas com a disponibilidade de água superficial, o que pode causar graves problemas socioeconômicos, principalmente em relação a qualidade de vida e de produtos ali produzidos

Diante de tal situação, deve-se levar em consideração a utilização e reutilização de águas de qualidade inferior, podendo ser: água de esgoto de origem doméstica, de drenagem agrícola e águas salobras (Hespanhol, 2002). Alguns pesquisadores apontam que a utilização de tais tipos de água poderia reciclar nutrientes, reduzindo aplicações. Além do reuso da água, Rosa et al. (2020) aponta a utilização de irrigação por déficit, de forma sustentável, como uma maneira de se produzir mais sem gerar problemas com escassez de água.

Objetivou-se com a presente revisão bibliográfica aprofundar os conceitos sobre pegada hídrica e os termos: água azul, água verde, água cinza e discutir soluções para escassez de água frente a produção de alimentos.

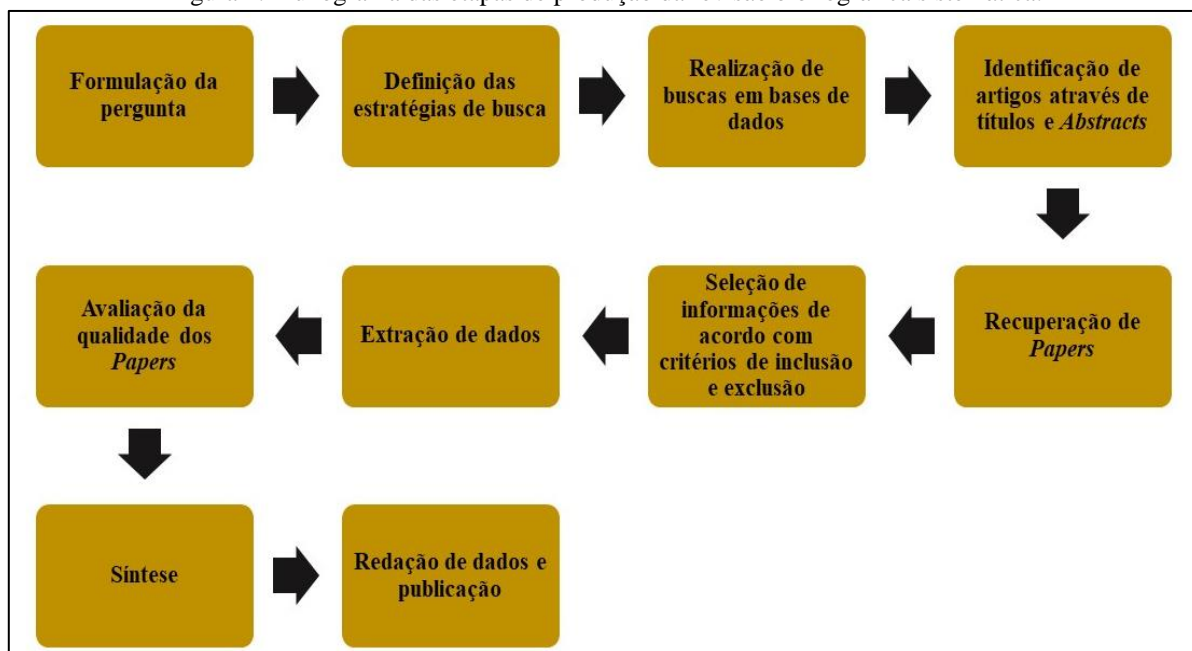
2 MATERIAL E MÉTODOS

A presente revisão bibliográfica foi realizada através de uma análise sistemática de dados presentes em artigos científicos das principais bases de dados científicas disponíveis para pesquisa: Pubmed, SciELO, Google Scholar, Science Direct, Scopus, Redalyc, Portal de Periódicos Capes, Latindex e Agris-FAO.

A revisão sistemática seguiu um fluxograma estabelecido em etapas definidas conforme proposto por Martins (2018), sendo a etapa 1: Planejamento e formalização da pesquisa via formalização de estudo; Etapa 2: Execução da pesquisa segundo o protocolo de estudo; Etapa 3: Sumarização dos dados coletados. As etapas foram desdobradas em faixas, de acordo com metodologia adaptada de Cachina, Paiva & Torres (2016) e (Martins, 2018), conforme apresentado na Figura 1.

Por se tratar de um trabalho de revisão sistemática, não foi realizada análise estatística, já que se trata de um trabalho de cunho teórico.

Figura 1. Fluxograma das etapas de produção da revisão bibliográfica sistemática.



Fonte: Adaptado de: Martins (2018).

3 REVISÃO SISTEMÁTICA

3.1 PEGADA HÍDRICA

O rápido crescimento da população mundial e o grande consumo de energia nas últimas décadas mudaram a forma do uso dos recursos naturais na terra. Desse modo surge o conceito de pegada hídrica (PH). O conceito de PH foi introduzido em 2002 por Arjen Hoekstra na reunião de peritos internacional sobre comércio de água virtual, realizada em Delf, Holanda. A pegada hídrica das nações foram quantitativamente avaliadas por Hoekstra e Hung (2002) e, posteriormente, por Hoekstra e Chapagain (2007 a,b). O termo foi escolhido por Hoekstra, em analogia a pegada ecológica, entretanto, os conceitos possuem outras raízes, pois a pegada ecológica é expressa em hectares e a PH em volume de água doce consumida. A PH foi introduzida em busca de ilustrar as relações entre o consumo humano e o uso da água, bem como entre o comércio global e a gestão de recursos hídricos.

A PH é definida como sendo o volume de água total usada durante a produção e consumo de bens e serviços, como o consumo direto e indireto da água em todo o processo de produção para a quantificação total de água em toda a cadeia produtiva. A sustentabilidade de uma PH depende de fatores climáticos e hídricos de uma região. Uma região com grande fluxo de água tem uma PH diferente daquela com escassez de água. A PH é composta por três tipos de água: azul, verde e cinza (Silva et al., 2013).

A água azul é aquela que é retirada dos rios, reservatórios de água subterrânea, corpos de água. A verde representa a água que vem da chuva e se acumula no solo, essa água tem relação principalmente com as plantas e é retirada via evaporação e transpiração. A água cinza está relacionada à quantidade de água necessária para diluir o poluente, que volta para o sistema na forma de efluentes (Opersan, 2015). Para o setor agrícola, são considerados normalmente os três tipos de pegada hídrica. Quando a cultura agrícola é irrigada, são consideradas as águas azul e verde. A água cinza é calculada em função da lixiviação de componentes presentes nos fertilizantes e agrotóxicos e o quanto de água será utilizado para diluir os poluentes. Já no setor industrial, normalmente é considerado somente as águas: azul e cinza, já que não utiliza a água armazenada no solo proveniente da chuva (Opersan, 2015).

A pegada hídrica global da produção agrícola no período de 1996-2005 foi $7404 \text{ Gm}^3/\text{ano}^{-1}$, sendo 78% verde, azul 12%, e 10% de cinza). O trigo tem a maior participação no presente no volume de total, que é de $1.087 \text{ Gm}^3 \text{ ano}^{-1}$ (70% verde, 19% azul e cinza 11%). As outras culturas com grande pegada hídrica são o arroz ($992 \text{ Gm}^3 \text{ ano}^{-1}$) e o milho e ($770 \text{ Gm}^3 \text{ ano}^{-1}$). Por outro lado, as principais culturas com a menor contribuição de água verde para o consumo total de água são a palma (43%) e algodão (64%) (Mekonnen & Hoekstra, 2011). Estudos realizados por Chapagain (2011) estimou a pegada hídrica para a produção de arroz, que é uma das culturas com maior consumo de água do

mundo, obteve resultados de 784 km³/ano de pegada hídrica global, com média de 1325 m³/tonelada, que corresponde a 48% de água verde, 44% de água azul e de 8% de cinza

Na avaliação da pegada hídrica mundial do algodão, para o período de 1997- 2001, mostraram que o consumo mundial de algodão requer 256 Gm³ de água por ano, dos quais cerca de 42% é de água azul, 39% é de água verde e 19% de poluentes, componente cinza (Chapagain et al, 2006). Já estudos realizados na Espanha por Chapagain e Orr (2009) mostram que a pegada hídrica para um quilo de tomate produzido é de cerca de 236 litros de água. Variando entre 216 para 301 litros por quilograma. Sendo de 3% de água verde, 36% de água azul e 58% de água cinza. Assim, observa-se que a média de cada componente da pegada hídrica, depende da cultura, sistemas de gestão de água, localização e clima local.

3.2 ÁGUA VIRTUAL

D'Oliveira (2016) trata como “Água Virtual” a água utilizada para produção agrícola, pecuária e industrial. Que também leva em consideração os conceitos de água azul, água verde, e água cinza. Além disso, também trata a agricultura como um dos principais poluidores dos recursos hídricos, apontando fertilizantes e agroquímicos como importantes poluidores de fauna e flora. Dabrowski et al. (2009) apontam que a utilização apenas de água verde para fins de agricultura é a melhor maneira para países em desenvolvimento, uma vez que não ocasiona escassez de recursos hídricos. Chapagain et al. (2005) encontraram que, um produto que advenha de água verde economiza recursos, mas a importação de produtos advindos de água azul apresenta maior custo de oportunidade.

De acordo com D'Oliveira (2016) no comércio de água virtual, a exportação é realizada por países abundantes em água verde para países abundantes em água azul. O autor ainda traz que a água verde não pode ser realocada, sendo utilizada apenas para agricultura, enquanto a utilização de água azul na irrigação pode provocar esgotamento e contaminação de água, além de degradação do solo. Porém a dependência de água verde não pode garantir uma produção estável todos os anos. Pela elevada produção de commodities, e exportação de diversos alimentos como frango, o Brasil é tido como um dos principais importadores de água virtual. O continente africano importa boa parte dessa água.

3.3 REUTILIZAÇÃO DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO

No contexto de irrigação se utilizando água de esgoto doméstico, temos que a utilização de esgoto doméstico pode ser feita para fins potáveis e não potáveis. Em relação ao uso para fins agrícolas, se mostra uma excelente opção econômica e ambientalmente. De acordo com Mancuso e Santos (2007) o uso de tais águas na irrigação tem aumentado cada vez mais, principalmente por conta do elevado preço de fertilizantes e da dificuldade de se encontrar fontes alternativas de água. Winpenny et al.

(2010) ainda afirmam que, a utilização de águas de reuso possuem menor custo, que os custos de irrigação com outro tipo de água, ou o tratamento convencional de esgotos.

Alguns estudos, comprovam ainda que, a produtividade pode aumentar significativamente com a utilização de água de reuso. Um dos estudos, realizado na Índia, por Shende (1985), mostra a produtividade de trigo, feijão, arroz, batata e algodão, com a utilização de tratamentos com esgoto bruto, efluente primário, efluente de lagoa de estabilização e Água + NPK. Os resultados de tais estudos apontam que, a produtividade foi maior com a utilização de esgoto e efluentes em relação ao tratamento realizado com água + NPK.

Além disso de acordo com Lira et al. (2015) o uso de efluentes permite o aumento de áreas irrigadas, que ocasiona, maior número de colheitas ao longo do ano, em áreas que sofriam com escassez em alguns períodos. Em adição, diminui a contaminação de rios, e outros efluentes pela descarga de esgoto diretamente em mananciais, além de preservar recursos subterrâneos. Como outros benefícios podemos citar: a conservação do solo devido ao acúmulo de húmus, o aumento da matéria orgânica que permite maior retenção de água no sistema e principalmente, a contribuição para áreas carentes, que são dependentes de importação de alimentos. Mas não podem ser descartados os pontos negativos, dentre eles, a contaminação de aquíferos, risco a saúde e comunidades em contato prolongado com esgoto, propiciando o surgimento de vetores de doenças.

Desta forma, faz-se necessária a utilização de um projeto bem elaborado para reuso de águas com fins agrícolas, para identificação completa de características e valores restritivos. Por conta dos pontos negativos já apresentados, o Brasil possui uma Norma Regulamentadora a respeito da utilização de águas de reuso para a agricultura. De forma que segundo a NBR 13.969/97 não é permitido o uso de esgoto tratado mesmo que desinfectado para irrigação de hortaliças e frutas de ramas rastejantes. É admitido o seu reuso para produção de milho, arroz, trigo, café e algumas árvores frutíferas, via escoamento no solo, desde que a irrigação seja interrompida 10 dias antes da colheita.

3.4 IRRIGAÇÃO POR DÉFICIT

Rosa et al. (2020) buscaram identificar e quantificar as áreas no mundo com EAV e estimar a quantidade de irrigação necessária para tais, levando em consideração o balanço de água no solo e a evapotranspiração. Considerando dois cenários de irrigação, a irrigação por déficit em 50% e por déficit em 20%. Além disso, os autores calcularam a quantidade de água azul que seria consumida para tal.

Encontraram então, que 76% das áreas produtoras enfrentam EAV ao menos um mês no ano. Até o presente momento, 23% das áreas de produção são irrigadas, sendo que nos meses em que tais áreas enfrentam EAA, tal irrigação é realizada de forma insustentável. De tal modo, se fosse aplicada a irrigação com déficit de 50 ou 20% em tais áreas, pode-se obter uma irrigação sustentável em 7% e

33% em áreas que enfrentam EEA em 1 e 5 meses do ano, respectivamente. A combinação de áreas dependentes de irrigação insustentável, combinadas a falta de água em alguns períodos, é a principal preocupação em relação a segurança alimentar. Rosa et al. (2020) também encontraram que 15% das áreas de produção enfrentam EEA, enquanto 16% das áreas cultivadas utilizam irrigação de forma insustentável. O aumento da irrigação para áreas que enfrentam EEA aumentaria em 10% o consumo de água, mas seria capaz de alimentar 620 milhões de pessoas.

Com a aplicação de irrigação por déficit de 20% é possível expandir as áreas irrigadas sustentavelmente em 5% o que poderia alimentar em torno de 160 milhões de pessoas. Com 50% de irrigação por déficit, e a adição de 5% das áreas, seria possível produzir alimento para mais 60 milhões de pessoas. De forma que a expansão de irrigação sustentável em áreas que enfrentam EEA pode aumentar a produção de alimentos para 840 milhões de pessoas. Em áreas que enfrentam escassez total de água, a aplicação de irrigação mesmo em cenários de déficits se torna insustentável. Nessas condições devem ser levadas em consideração os valores de produção e infraestrutura para realização da irrigação para produção de alimentos.

A EEA da agricultura tende a se concentrar em países subdesenvolvidos. E como esperado, em países mais desenvolvidos ou regiões áridas ela acontece em menores proporções, onde o aumento de áreas com irrigação pode aumentar também a produção de alimentos. Cerca de 2/3 das áreas com EEA se localizam na África Subsaariana, uma área que com a expansão da irrigação poderia produzir alimento suficiente para 189 a 235 milhões de pessoas. No leste da Europa e Sudeste da Ásia, a utilização de irrigação por déficit sustentável, em áreas com EEA produziria alimento para 317 a 417 milhões de pessoas. Com o aumento da produção de comida em países dependentes de importação, haveria a diminuição da exposição de tais a choques socioambientais e de falta de alimentos.

Desta forma, o aumento da expansão de áreas irrigadas sustentavelmente poderia produzir mais alimento sem degradar o meio ambiente. Mas ainda há a presença de áreas que utilizam irrigação de forma insustentável. Sendo assim, o ideal seria que essa prática de irrigação não sustentável fosse completamente eliminada, e desse lugar a irrigação sustentável por déficit em áreas com EEA, contribuindo com 13% da caloria global produzida em alimentos, o que alimentaria cerca de 1,34 bilhões de pessoas.

A construção de pequenos reservatórios de água, para água das chuvas, pode ser uma boa opção pra áreas que enfrentam a escassez de água em poucos períodos do ano, o que aumentaria a produção de alimentos também, o que seria suficiente no caso de a irrigação sustentável ser eliminada. Porém essas práticas só seriam rentáveis em pequenas áreas de produção. Além disso, medidas como diminuir o desperdício de alimentos, o consumo de carne e a dependência de biocombustíveis contribuiria para suprir a demanda por alimentos sem que seja necessário o aumento da produção.

Outras alternativas que busquem diminuir a evaporação da água pelo solo também podem contribuir para diminuir áreas com EAV. Alternativas como, o cultivo em contorno, o terraceamento, a utilização de mulching e a remoção de plantas daninhas que consomem água do solo e não produzem alimentos.

3.5 PEGADA HÍDRICA EM AMBIENTES SEMIÁRIDOS

A disponibilidade de água é um dos aspectos mais relevantes nos dias atuais, principalmente para a agropecuária, atividade essa conhecida como uma das maiores consumidoras de recursos hídricos dentre todos os seguimentos da sociedade (Carvalho e Menezes, 2014). Em ambientes onde predomina o clima semiárido, esse consumo de água se torna cada vez mais relevante e limitante. Nesses locais, os problemas relacionados aos recursos hídricos têm se agravado a níveis preocupantes em função das mudanças climáticas (Zhang e Shagguan, 2016).

A sazonalidade climática observada no semiárido controla toda a dinâmica de água no ambiente, onde o volume precipitado não ultrapassa a média de 500 mm ano^{-1} em algumas localidades e a temperatura média margeia os 30°C em grande parte do ano (Melo et al., 2007). Em função dessas particularidades relacionadas à disponibilidade de água no aspecto macroscópico, grande parte da produção agrícola passa a ser realizada em sistema de sequeiro, assim, quaisquer alterações nos padrões de precipitação e temperatura podem ter impactos diversos nos serviços ecossistêmicos, incluindo a redução na disponibilidade hídrica nessas regiões (Ramarao et al., 2019).

Em grande parte do semiárido as taxas de evapotranspiração sobrepõem a precipitação em algumas épocas do ano, desse modo, levando a problemas ambientais a exemplo de elevado déficit hídrico e acúmulo de sais na superfície do solo. Esses problemas refletem diretamente na pegada hídrica desses ambientes e soluções alternativas de produção, que se utilizem o conceito “eficiência” tornam-se cada vez mais relevante na atualidade. Carvalho e Menezes (2014) avaliando a pegada hídrica de sistemas agrícolas no Semiárido brasileiro, verificaram que a palma forrageira teve sua pegada hídrica reduzida em 53% com o aumento da densidade de plantio e disponibilidade de fósforo no solo. Para o Capim-Buffel a redução da pegada hídrica foi na ordem de 23% com a utilização de adubos químicos e 28% com o esterco bovino. A redução mais significativa foi verificada pelo sorgo, 75%, para eles, esse resultado se deve a utilização de cultivares mais adequadas para a condição climática.

Nesse caso, afirma-se que a pegada hídrica se torna uma metodologia útil e de grande importância na predição de redução no uso de água pelas plantas, principalmente em regiões como o Semiárido nordestino, no qual a disponibilidade de água é limitante (Carvalho e Menezes, 2014). Oliveira et al. (2019) avaliando a pegada hídrica cinza na produção de tomate no Semiárido brasileiro, mas precisamente nos municípios de Parelhas- RN e Equador-RN, observaram que a utilização de



inseticidas com alta solubilidade foi considerado ofensivo para a produção de tomate nesse ambiente, e que a substituição por outros menos solúvel como: Metomil, Sportak e Karate 50C são os mais utilizados, pois se enquadram melhor no conceito de pegada hídrica cinza.

No caso dos agrotóxicos, a pegada hídrica cinza torna-se indispensável em sua avaliação, pois diz respeito a quantidade de água doce necessária para diluir a substância ativa do produto químico no solo, a partir da carga poluente aplicada anualmente (L) e da concentração máxima permitida de aplicação pelas legislações nacionais e internacionais (Hoekstra et al., 2012). Em relação ao consumo humano, Nogueira et al. (2019), avaliando a pegada hídrica de estudantes do curso de Engenharia de Biosistemas da Universidade Federal de Campina Grande, em Sumé, PB, observaram que a média de consumo nessa localidade é superior à média brasileira, com 4689,66 litros por dia, sendo que os componentes: consumo de alimentos e consumo doméstico de água, são os que influenciam em maior proporção para esse resultado.

Nesse sentido, salienta-se que a pegada hídrica é uma ferramenta que deveria ser avaliada de forma mais efetiva, tanto no planejamento das propriedades rurais em ambiente semiárido, a fim de verificar quais espécies demandam menos água para a produção, quanto para a construção de edifícios e alocação de população. Pois, diante dos desafios impostos pelas mudanças do clima, preservar a água está se tornando uma tarefa cada vez mais necessária.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a presente revisão sistemática, pode-se perceber a importância do conhecimento de conceitos, como pegada hídrica, água azul, água verde e água cinza. Em relação a pegada hídrica, há uma variação de acordo com a cultura, sua demanda e gastos de água. Os gastos de água para a produção vão ser subdivididos em água azul, água verde e água cinza. Frente a crescente demanda por alimentos se faz necessário o uso de indicadores de sustentabilidade como a pegada hídrica, para realizar o monitoramento do impacto das atividades agrícolas sobre o meio ambiente.

O Brasil apesar de ser um país que conta com grande disponibilidade de água, enfrenta problemas referentes a má distribuição deste recurso. Sendo mais concentrada em regiões onde se encontra menor índice populacional. Isso pode acarretar diversos problemas, principalmente em relação a produção e distribuição de alimentos.

Viu-se também o conceito de água virtual, que diz respeito a exportação da água na forma de produtos, como commodities, no formato de água verde, ou na forma de outros produtos industrializados, no formato de água azul. É importante ressaltar que alguns autores consideram a produção de alimentos se utilizando apenas água verde como o ideal, principalmente em conceitos de sustentabilidade, porém tal feito não se torna possível com a má distribuição de recursos como água doce no mundo. A direção de exportação geralmente ocorre de países com maior abundância de água



verde para países com maior abundância em água azul, o que pode promover a dependência de alguns países, principalmente os menos desenvolvidos, na produção e consumo de alimentos, acarretando alguns problemas de ordem socioeconômica.

A reutilização de água, principalmente água cinza advinda de esgoto, para a irrigação, se mostra uma solução favorável para regiões que sofrem com problemas de escassez de água verde, como mostrado durante a revisão, a reutilização pode contribuir em quesitos de fertilidade, e atributos físicos do solo, através da aeração pela deposição de matéria orgânica e concentração de húmus. No entanto, deve-se ter um plano bem elaborado para o reuso, uma vez que o maior contato com águas de esgoto pode levar ao surgimento de focos de doenças. Também deve-se atentar ao fato, de que não se pode utilizar essa água para todas as culturas, principalmente para as que são consumidas in natura.

A utilização de irrigação com déficit hídrico, se mostra favorável, principalmente em regiões que se encontram frente a escassez de água econômica na agricultura. Esse tipo de irrigação em tais áreas, pode promover o aumento da produção de alimentos, e consequente aumento no número de pessoas alimentadas, e ainda respeitar o conceito de irrigação sustentável. Além disso, diminuiria a dependência de países subdesenvolvidos na importação de alimentos, o que traria bons impactos socioeconômicos.

No caso de ambientes semiáridos, a pegada hídrica com suas vertentes pode servir de suporte para o planejamento de sistemas produtivos mais sustentáveis. A utilização de espécies adaptadas, que demandam baixa quantidade de água e deem bons retornos de produtividade podem ser avaliadas através dessa sistemática.

REFERÊNCIAS

- AUGUSTO, L.G.S.; GURGEL, I.G.D.; CÂMARA NETO, H.F.; MELO, C.H.; COSTA, A.M. O contexto global e nacional frente aos desafios do acesso adequado à água para consumo humano. **Revista ciência e saúde coletiva**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 6, p. 1511-1522, 2012.
- BROWN, L.R. **O desafio das águas – UMA – Universidade Livre da Mata Atlântica, 2001.** Disponível em: <www.wwiuma.org.br>. Acesso em: 12 jun. 2020.
- CACHINA, A. M. P.; PAIVA, I. L.; TORRES, T. L. Violência familiar contra idosos: Revisão Sistemática. **Liberabit**, Lima, v. 22, n. 2, p. 185-196, 2016.
- CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Emitter and filter for wastewater reuse by drip irrigation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 68, n. 2, p. 135-149, 2004.
- CARVALHO, A. L.; MENEZES, R. S. C. Pegadas hídricas em sistemas agropecuários na Região semiárida do Nordeste do Brasil. **Agro@mbiente On-line**, Boa Vista, v. 8, n. 1, p. 142-148, 2014.
- CASTRO, C. N. **Gestão das águas: experiências internacional e brasileira**. Brasília: IPEA. 2012.
- CHAPAGAIN, A. et al. **Saving water through global trade**. 17 ed. Paris: Unesco. 2005.
- CHAPAGAIN, A. K., HOEKSTRA, A. Y., SAVENIJE, H. H. G., GAUTAM, R. The Water Footprint of cotton consumption- An assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 60, n. 1, p. 186-203, 2006.
- CHAPAGAIN, A. K.; ORR, S. An improved water footprint methodology linking global consumption to local water resources: A case of Spanish tomatoes, **Journal of Environmental Management**, Amsterdam, v. 90, n. 1, p. 1219-1228, 2009.
- CHRISTOFIDIS, D. **Irrigação, a fronteira hídrica na produção de alimentos**. Irrigação e Tecnologia Moderna, Brasília: ABID, n. 54, p.46-55, 2002.
- D'OLIVEIRA, B. R. “**Virtual Water Trade, Reflexões sobre a inserção do Brasil no comércio internacional**”. Universidade de Brasília. 2016.
- DABROWSKI, J. et al. Agricultural impacts on water quality and implications for virtual trading decisions. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 68. n.4, p. 1074-1082, 2009.
- ERCIN, A. E.; ALDAYA, M. M.; HOEKSTRA, A.Y. The water footprint of soy milk and soy burger and equivalent animal products. **Ecological Indicators**, Amsterdam, n. 18, p. 392-402, 2012.
- HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: Agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, São Paulo, v. 7, n. 4, p. 75-95, 2002.
- HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K. Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. **Water Resources Management**, Amsterdam, v. 21, p. 35-48, 2007.
- HOEKSTRA, A. Y.; MEKONNEN, M. M.; CHAPAGAIN, A. K.; MATHEWS, R. E.; RICHTER, B. D. Global monthly water scarcity: blue water footprints versus blue water



HOEKSTRA, A.Y. Human appropriation of natural capital: A comparison of ecological footprint and water footprint analysis. **Ecological Economics**, Amsterdam, n. 68, p. 1963-1974, 2009.

HOEKSTRA, A.Y., CHAPAGAIN, A.K. **Globalization of water: Sharing the planet's freshwater resources**. Oxford: Blackwell Publishing. In press, 2007b.

HOEKSTRA, A.Y., HUNG, P.Q. **Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade**. Value of Water Research Report Series. Paris: UNESCO/IHE, Delft, 2002.

LIRA, R. M.; SANTOS, A. N.; SILVA, J. S.; BARNABÉ, J. M. C.; BARROS, M. S.; SOARES, H. R. A utilização de águas de qualidade inferior na agricultura irrigada. -**Revista Geama Environmental Sciences**, Recife, v. 1, n. 3, p.841-862, 2015.

MARTINS, M. F. M. **Estudos de revisão de literatura**. 2018. Disponível em: <https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/icict/29213/2/Estudos_revisao.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2020.

MEKONNEN, M.M.; HOEKSTRA, A.Y. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. **Hydrology and Earth System Sciences**, Amsterdam, v. 15, n. 5, p. 1577-1600, 2011.

MELO, R. R.; LIRA FILHO, J. A.; RODOLFO JÚNIOR, F. Diagnóstico qualitativo e quantitativo da arborização urbana no bairro Bivar Olinto, Patos, Paraíba. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 2, n. 1, p. 64-80, 2007.

NOGUEIRA, T. J. D.; SILVA, L. N.; MEDEIROS, L. C.; SANTOS, J. S. **Pegadas hídricas dos discentes do curso de Engenharia de Biosistemas da UFCG**. In: Congresso Técnico da Engenharia e Agronomia. 7. 2019. Anais. Palmas: CONFEA, 7, 2019. 5p.

OLIVEIRA, H.; SILVA, A. A. R.; SOUZA, R. F. A.; COSTA, P. S.; PINHEIRO, F. W. A.; SOBRINHO, T. G. Pegada hídrica cinza no cultivo de tomate no semiárido brasileiro. **Revista Verde**, Pombal, v. 14, n. 2, p. 197-203, 2019.

OPERSAN - Soluções Ambientais. **A pegada hídrica e suas classificações**. 2015. Disponível em: <<http://info.opersan.com.br/a-pegada-h%C3%ADrica-e-suas-classifica%C3%A7%C3%B5es>>. Acesso em: 17 jun. 2020.

PAZ, V.P.S.; TEODORO, R.E.F.; MENDONÇA, F.C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 465-473, 2000.

RAMARAO, M. V. S.; SANJAY, J.; KRISHNAN, R.; MUJUMDAR, M.; BAZAZ, A.; REVI, A. On observed aridity changes over the semiarid regions of India in a warming climate. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 136, n. 1, p. 693-702, 2019.

ROSA, L.; CHIARELLI, D.D.; RULLI, M.C.; DELL'ANGELO, J.; D'ODORICO, P. Global agricultural economic water scarcity. **Science Advances**, v. 6, n. 18, p. 1-11, 2020.

SHENDE, G.B. "Status of Wastewater Treatment and Agricultural Reuse with Special Reference to Indian Experience and Research and Development Needs". In: PESCOD, M.B. & ARAR, A. (Ed). Proceedings of the FAO Seminar on the Treatment and Use of Sewage Effluents for irrigation, Nicosia, Cyprus, 7-9 October, Butterworths, Londres, 1985.



SILVA, V. P. R. et al. Uma medida de sustentabilidade ambiental: pegada hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n.1, p. 100-105, 2013.

WINPENNY, J.; HEINZ, I.; KOO-OSHIMA, S. **The wealth of waste: the economics of wastewater use in agriculture**. Roma: FAO Water Reports, 2010.

ZHANG, Y. W.; SHANGGUAN, Z. P. The change of soil water storage in three land use types after 10 years on the Loess Plateau. **Catena**, 147(1): 87- 95, 2016.