



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbge>



Pegada Hídrica da Palma Forrageira sob Fertirrigação Nitrogenada no Semiárido Brasileiro

Rigoberto Moreira de Matos¹, José Dantas Neto², Tadeu Miranda de Queiroz³, Patrícia Ferreira da Silva⁴, Luciano Marcelo Fallé Saboya⁵, Vera Lúcia Antunes de Lima⁶

¹Dr. Pós-doutorando em Produção Vegetal Sustentável, Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT, E-mail: rigobertomoreira@gmail.com.

²Dr. Prof. curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, E-mail: zedantas1955@gmail.com.

³Dr. Prof. curso de Engenharia Agrônômica, Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT, E-mail: tdmqueiroz@unemat.br.

⁴Dra. Profa. curso de Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal de Rondonópolis - UFR, E-mail: patrycyafs@yahoo.com.br.

⁵Dr. Prof. curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, E-mail: saboya@hotmail.com.

⁶Dra. Profa. curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, E-mail: antuneslima@gmail.com.

⁷Doutoranda em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, E-mail: bdavis.2340@gmail.com.

Artigo recebido 16/05/2023 em e aceito em 14/02/2024

RESUMO

A pegada hídrica é importante para estimar o consumo total de água e os impactos ambientais ocasionados durante o processo produtivo de uma cultura agrícola. Assim, objetivou com esta pesquisa determinar a pegada hídrica verde, azul e cinza da palma forrageira sob fertirrigação nitrogenada no semiárido brasileiro. O experimento foi desenvolvido em condições de campo no município de Santa Luzia, estado da Paraíba, Brasil. O delineamento em blocos ao acaso e fatorial 5 x 5, constituído de cinco lâminas de irrigação (25; 50; 75; 100 e 125% da ET₀), cinco doses de adubação nitrogenada (0; 150; 300; 450 e 600 kg ha⁻¹ de N) e três repetições. Esse delineamento foi utilizado para três cultivares de palma forrageira (Orelha de Elefante; Baiana e Miúda). Analisou-se a pegada hídrica verde, azul e cinza individualmente para cada cultivar estudada. O aumento na dose de nitrogênio reduziu a pegada hídrica verde, azul e cinza das cultivares de palma forrageira. O acréscimo na lâmina de irrigação diminuiu a pegada hídrica verde e cinza, e aumentou a azul. A cultivar Orelha de Elefante propiciou a menor pegada hídrica verde, azul e cinza. A pegada hídrica é um importante indicador, capaz de monitorar o impacto do consumo de água das culturas irrigadas e adubadas sobre o meio ambiente. A pegada hídrica das cultivares de palma forrageira irrigada e adubada é a menor encontrada na literatura, entre as plantas irrigadas, evidenciando o grande potencial dessa forrageira para regiões com pouca disponibilidade de água, como o semiárido brasileiro.

Palavras-chave: componentes verde, azul e cinza, *Opuntia* e *Nopalea*, consumo de água e fertilização.

Water footprint of cactus pear under nitrogen fertirrigation in the Brazilian semiarid

ABSTRACT

The water footprint is important to estimate the total water consumption and the environmental impacts caused during the production process of an agricultural crop. Thus, the objective of this research was to determine the green, blue and gray water footprint of cactus pear under nitrogen fertirrigation in the Brazilian semi-arid region. The experiment was carried out under field conditions in the municipality of Santa Luzia, state of Paraíba, Brazil. The randomized block design and factorial 5 x 5, consisting of five irrigation depths (25; 50; 75; 100 and 125% of ET₀), five doses of nitrogen fertilization (0; 150; 300; 450 and 600 kg ha⁻¹ of N) and three repetitions. This design was used for three forage cactus cultivars (Orelha de Elefante; Baiana and Miúda). The green, blue and gray water footprint was analyzed individually for each cultivar studied. The increase in nitrogen dose reduced the green, blue and gray water footprint of cactus pear cultivars. The increase in irrigation depth decreased the green and gray water footprint, and increased the blue one. The cultivar Orelha de Elefante provided the smallest green, blue and gray water footprint. The water footprint is an important indicator, capable of monitoring the impact of water consumption by irrigated and fertilized crops on the environment. The water footprint of irrigated and fertilized cactus pear cultivars is the lowest found in the literature, among irrigated plants, evidencing the great potential of this forage for regions with little water availability, such as the Brazilian semi-arid region.

Keywords: components green, blue and gray, *Opuntia* and *Nopalea*, water consumption and fertilization.

Introdução

A crescente preocupação com a disponibilidade de água, diante do cenário cada vez mais frequente de escassez hídrica, favoreceu a introdução de um novo conceito que serve como indicador do consumo de água, com o intuito de combater ou mesmo reduzir os excessos provocados em sua utilização (Mekkonen e Hoekstra, 2011; Chapagain e Hoekstra, 2011). Trata-se de um indicador multidimensional denominado de pegada hídrica, uma vez que, contabiliza o volume de água consumido na produção de bens e serviços, com base na quantidade utilizada em todas as etapas do processo de produção (Hoekstra e Hung, 2002; Gerbens-Leenes et al., 2009; Silva et al., 2013).

De acordo com Roux et al. (2016); Nyambo e Wakindiki (2015) e Rivas Ibáñez et al. (2017), a pegada hídrica seja ela verde, azul ou cinza tem como objetivo designar o consumo hídrico por unidade de biomassa produzida nos sistemas de produção vegetal.

Chapagain e Hoekstra (2008) afirmam que, a pegada hídrica é composta por três tipos de uso da água; a verde, que consiste no volume de águas pluviais armazenadas no perfil do solo e evapora dos campos de cultivo; a azul é a quantidade de água doce extraída dos rios e lagos que é utilizada nos cultivos, mas não recuperada e a cinza que é considerada indicador do grau de poluição da água doce de uma etapa do processo, podendo estar engajada na etapa do processo de produção de qualquer produto ou serviço (Hoekstra et al., 2011; Silva et al., 2013; Matos et al., 2017).

Diversos são os aspectos que podem

influenciar a pegada hídrica na produção vegetal, dentre os quais podem ser destacados: o clima da região; o tipo de cultura utilizada, caso se adapte as condições regionais; o manejo utilizado na condução da cultura (densidade de plantio, adubação, irrigação, dentre outros) (Carvalho e Menezes, 2014).

Assim, sendo o cultivo de forrageira, em especial a palma forrageira por ser uma cactácea que possui boa adaptação às regiões áridas e semiáridas, apresentando tolerância a períodos longos de estiagem e alta eficiência no uso de água. Sendo assim, se constitui como um dos principais recursos forrageiros para manutenção da pecuária brasileira (Sales et al., 2013; Pinheiro et al., 2014).

Silva et al. (2015) relataram que, se faz necessário o estudo do manejo adequado da cultura no tocante a densidade de plantio, adubação e sistema de irrigação a ser adotado, pois são fatores que influenciam na quantidade de água a ser fornecida a cultura para seu pleno desenvolvimento.

Nesse sentido, a determinação das pegadas hídrica é essencial visando à redução do consumo de água, da poluição causada pelo uso de agroquímicos, sejam eles fertilizantes nitrogenados ou mesmo defensivos utilizados no controle da cochonilha da escama, que pode conduzir grandes perdas na produção da palma forrageira (Dubeux Júnior et al., 2013; Rivas Ibáñez et al., 2017).

Dada à relevância da temática, objetiva-se determinar a pegada hídrica verde, azul e cinza da palma forrageira sob fertirrigação nitrogenada no semiárido brasileiro.

Material e métodos

Descrição do local da pesquisa

O experimento foi desenvolvido em condições de campo, entre maio de 2015 a junho de 2016, no município de Santa Luzia - PB, localizado na latitude 06° 52' 27", longitude 36° 56' 00" WGr, e altitude média 299 m. O clima local é do tipo Bsh-Tropical, quente e seco, semiárido com chuvas de verão.

Esta região possui precipitação média anual de 500,0 mm, com maior concentração nos meses de janeiro a maio. A temperatura média anual de 27,6 °C, com máxima de 33,0 °C e mínima de 22,3 °C, e umidade relativa do ar oscilando entre 50 a 70%

(Silva, 2017).

O solo da área experimental possui textura franco-arenosa, sendo classificado como do tipo Neossolos Flúvicos derivados de sedimentos aluviais, conforme metodologia da EMBRAPA (2014).

Delineamento experimental e sistema de plantio

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso e esquema fatorial 5 x 5, sendo cinco lâminas de irrigação - LI (25; 50; 75; 100 e 125 da ET₀) e cinco doses de nitrogênio - DN (0; 150; 300; 450 e 600 kg ha⁻¹ de N). Este delineamento foi utilizado para três cultivares de palma forrageira (Orelha de Elefante;

Baiana e Miúda), com três repetições. Estas cultivares possuem capacidade de resistir a cochonilha do carmim (*Dactylopius Opuntiae*), principal praga da palma forrageira no semiárido brasileiro.

Cada parcela experimental se constituiu por uma fileira dupla de plantas, sendo espaçadas de 0,4 m entre linhas; 2,0 m entre fileiras duplas; 0,25 m entre plantas; 5,0 m de comprimento e 1,0 m de bordadura. A parcela com área de 14,4 m², sendo a área útil da parcela de 0,6 m² e densidade de plantio de 33.333 plantas por hectare.

As parcelas foram adubadas na fundação com fósforo e potássio conforme recomendações de Santos et al. (2006), e a análise do solo. A ureia (nitrogênio) foi aplicada mensalmente via fertirrigação. A adubação orgânica feita com esterco bovino aplicando 1,0 kg por metro linear (Santos et al., 2006).

O plantio das raquetes foi em sulco utilizando raquetes isentas de pragas e doenças. As raquetes passaram por período de cura à sombra, quando o cladódio perde parte da umidade, ocorrendo à cicatrização das lesões provocadas pela operação de corte no campo (Suassuna, 1993). As aplicações dos tratamentos se iniciaram com dois meses após o plantio das sementes no campo.

Sistema e manejo da irrigação

O sistema de irrigação foi o de mangueira gotejadora com espaçamento entre emissores de 0,20 m e vazão de 6,0 L h⁻¹ m⁻¹.

A lâmina de irrigação foi aplicada duas vezes por semana com base na evapotranspiração de referência.

O cálculo da intensidade de aplicação do sistema de irrigação feito de acordo com a metodologia proposta por Mantovani et al. (2012).

O tempo de irrigação necessário para aplicar a lâmina de irrigação em cada tratamento foi determinada de acordo com o método proposto por Mantovani et al. (2012).

Determinação da evapotranspiração de referência

A evapotranspiração de referência diária (ET₀) foi estimada seguindo a metodologia proposta por Penman-Monteith, também recomendada pela FAO (Allen et al., 1998).

Cálculo da evapotranspiração verde e azul

No cálculo da evapotranspiração verde foram considerados os valores mínimos da evapotranspiração total da cultura (ET_c) ou precipitação efetiva (Pe_{eff}) da área experimental

(Hoekstra et al., 2011), conforme a Equação 1.

$$ET_{verde} = \min(ET_c \text{ ou } P_{eff}) \quad (1)$$

A evapotranspiração azul da área de estudo foi estimada de forma similar da evapotranspiração verde, ou seja, o máximo da evapotranspiração total da cultura (ET_c) e a precipitação efetiva (Pe_{eff}), Equação 2, adaptada de Hoekstra et al. (2011).

$$ET_{azul} = \max(ET_c - P_{eff}) \quad (2)$$

A precipitação pluviométrica foi monitorada com um pluviômetro instalado na área experimental. A precipitação efetiva foi determinada utilizando a metodologia do Serviço de Conservação do Solo do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (SCS USDA). Silva et al. (2015) dizem que esta metodologia é considerada a mais utilizada e precisa.

Cálculo das necessidades hídricas verde e azul

A necessidade hídrica da cultura (NHC) da palma forrageira, quando cultivada em condições ótimas de crescimento, é igual à evapotranspiração total do ciclo da cultura (ET), sendo utilizado um fator 10 para converter milímetros em m³ ha⁻¹ e L é o número de dias do ciclo da palma forrageira (Hoekstra et al., 2011), de acordo com as Equações 3 e 4.

$$NHC_{verde} = 10 \sum_{d=1}^{d=L} ET_{verde} \quad (3)$$

$$NHC_{azul} = 10 \sum_{d=1}^{d=L} ET_{azul} \quad (4)$$

Cálculo da pegada hídrica verde e azul

Para o cálculo da pegada hídrica verde e azul da palma forrageira foram utilizadas as Equações 5 e 6, metodologia proposta por Hoekstra et al. (2011).

$$PH_{verde} = \frac{NHC_{verde}}{P} \quad (5)$$

$$PH_{azul} = \frac{NHC_{azul}}{P} \quad (6)$$

Em que:

NHC_{verde} = necessidade hídrica verde da palma forrageira (m³ t⁻¹);

NHC_{azul} = necessidade hídrica azul da palma forrageira (m³ t⁻¹);

P = produtividade da palma forrageira (t ha⁻¹).

Cálculo da pegada hídrica cinza

A partir dos agrotóxicos utilizados no cultivo da palma forrageira, foi realizado um levantamento

das condições ambientais de solo, clima e manejo da cultura na área experimental.

Estimou-se a pegada hídrica cinza através da poluição difusa, pois quando uma substância química é aplicada no solo, apenas uma parte percola para águas superficiais e subterrâneas. Segundo Hoekstra et al. (2011), deve-se estimar a fração das substâncias químicas aplicadas que atingem os corpos hídricos através de modelos matemáticos.

Com base nos agrotóxicos (fungicida e inseticida) utilizados no cultivo da palma forrageira foram determinadas as concentrações máximas

(C_{max}) permitidas dos poluentes através da legislação sobre os padrões de qualidade da água em seu estado natural. Utilizou-se a Resolução do CONAMA nº 357/2005 para águas doces Classe II do Brasil (Brasil, 2005) e as legislações da União Europeia (UE, 2013) e do INERIS (2013). Franke et al. (2013) indicam que estas normas são atualizadas e cientificamente confiáveis.

Os agrotóxicos utilizados no cultivo da palma forrageira na área de estudo durante o período experimental encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Agrotóxicos utilizados no cultivo da palma forrageira.

Cultura	Agrotóxico	Classe	Classificação toxicológica	Classificação periculosidade ambiental
	Calda Bordalesa (Sulfato de cobre)	Fungicida	II Muito perigoso	Classe III Perigoso
	Assist (Óleo Mineral)	Inseticida / acaricida	IV Pouco Tóxico	Classe IV Pouco Perigoso

O tipo de solo da área experimental determinou a taxa de lixiviação-vazão dos agrotóxicos. Uma fração de lixiviação-vazão foi utilizada para demonstrar a quantidade de substâncias químicas aplicadas no solo, para estimativa da quantidade de substâncias que entram nas águas subterrâneas ou superficiais. A fração derivada a partir da metodologia de Franke et al. (2013) e calculada para cada agrotóxico utilizado no cultivo da palma forrageira.

A pegada hídrica cinza (PHC) foi calculada para cada agrotóxico separadamente. Já a estimativa realizada pela divisão da carga poluente (L, em massa/tempo) e pela diferença entre a concentração do padrão ambiental de qualidade da água para um determinado poluente (a concentração máxima aceitável C_{max}, em massa/volume) e sua concentração natural no corpo d'água receptor (C_{nat}, em massa/volume). Para cada agrotóxico se utilizou a Equação 7, seguindo Franke et al. (2013).

$$PH_{cinza} = \frac{L}{C_{max} - C_{nat}} = \frac{\alpha \times Apl}{C_{max} - C_{nat}} \quad (7)$$

O *Apl* representa a quantidade de substâncias químicas aplicadas no solo em um determinado processo (em massa/tempo). O fator adimensional α representa a fração de lixiviação ou escoamento, definido como a fração de substâncias químicas aplicadas que atingem os corpos d'água, calculada de acordo com a Equação 8.

$$\alpha = \alpha_{min} + \left[\frac{\sum_i S_i x W_i}{\sum_i W_i} \right] x (\alpha_{max} - \alpha_{min}) \quad (8)$$

Em que:

α_{min} = fração de lixiviação/vazão mínima;

α_{max} = fração de lixiviação-vazão máxima;

S_i = potencial de lixiviação-escoamento;

W_i = peso do fator.

A pegada hídrica cinza para cada cultivar de palma forrageira foi estimada multiplicando-se a taxa de aplicação da substância pela fração de lixiviação, dividida pela concentração máxima aceitável, menos a concentração natural do poluente, e divididos pela produtividade da cultura, conforme a Equação 9.

$$PH_{cinza} = \frac{(\alpha \times TQ) / (C_{max} - C_{nat})}{P} \quad (9)$$

Em que:

PH_{cinza} = pegada hídrica cinza da cultura ($m^3 t^{-1}$);

α - fração de lixiviação;

TQ = taxa de aplicação das substâncias químicas ($kg ha^{-1}$);

C_{max} = concentração máxima admissível do poluente no meio aquático receptor ($kg m^{-3}$);

C_{nat} = concentração natural do poluente considerado no meio aquático receptor ($kg m^{-3}$);

P = produtividade da cultura ($t ha^{-1}$).

As pegadas hídricas verde, azul e cinza foram analisadas de forma individual para cada cultivar de palma forrageira estudada.

Resultados e discussão

Precipitação efetiva e evapotranspiração

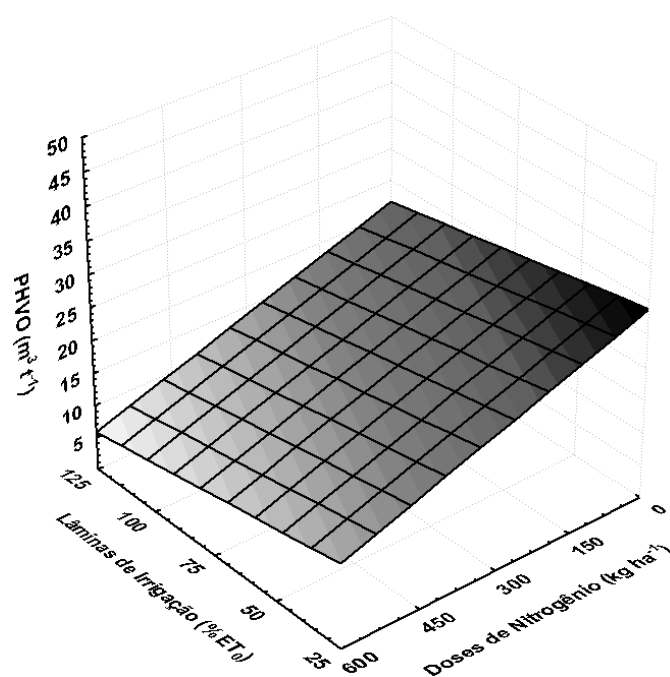
Durante o período experimental, a precipitação efetiva foi de 407,7 mm, o que equivale a necessidade hídrica verde da cultura, enquanto que a necessidade hídrica azul equivalente a evapotranspiração da cultura foi igual as lâminas aplicadas através da irrigação: 74,2; 148,4; 222,7; 296,9 e 371,1 mm, respectivamente para 25, 50, 75, 100 e 125% da ET_0 .

Medeiros et al. (2015) relatam que, no município de Santa Luiza a distribuição da precipitação pluviométrica é irregular, onde os maiores índices pluviométricos ocorrem de dezembro a maio e os

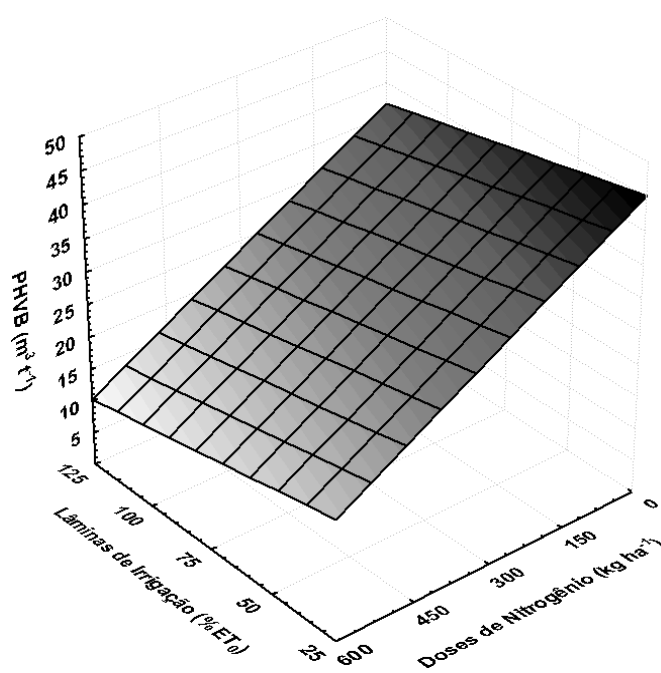
menores nos meses de junho a agosto, com precipitação média anual de 541,0 mm e evapotranspiração potencial anual de 1.230,2 mm, com oscilações de 102,8 a 125,6 mm $mês^{-1}$, com maiores taxas evapotranspiradas de outubro a abril.

Pegada hídrica verde

Na Figura 1 está a pegada hídrica verde (PHV) para as três cultivares de palma forrageira estudada em função das lâminas de irrigação e doses de nitrogênio.



$$\begin{aligned} \text{PHVO (m}^3 \text{ t}^{-1}\text{)} &= \\ 30,6309 - 0,0265 * \text{DN} - 0,0718 * \text{LI} \\ R^2 &= 0,92^{**} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \text{PHVB (m}^3 \text{ t}^{-1}\text{)} &= \\ 47,248 - 0,0443 * \text{DN} - 0,0833 * \text{LI} \\ R^2 &= 0,98^{**} \end{aligned}$$

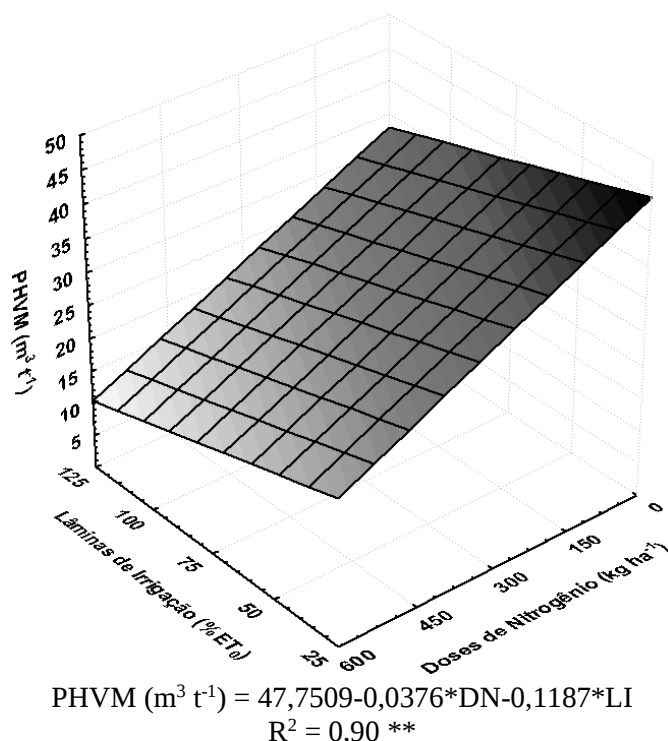


Figura 1. Pegada hídrica verde para as cultivares de palma forrageira Orelha de Elefante (PHVO), Baiana (PHVB) e Miúda (PHVM) em função das lâminas de irrigação e doses de nitrogênio. *, ** Significativo em nível de 0,05 e 0,01 de probabilidade, respectivamente.

Os maiores valores obtidos de pegada hídrica verde foram de 28,8, 45,2 e 44,8 m³ t⁻¹, respectivamente, para as cultivares Orelha de Elefante, Baiana e Miúda, onde este máximo consumo de água verde (precipitação efetiva) foi observado nos tratamentos submetidos a lâmina de irrigação de 25% da ET₀ e dose de nitrogênio de 0 kg ha⁻¹.

As cultivares de palma forrageira proporcionaram menor PHV quando irrigadas com 125% da ET₀ e 600 kg ha⁻¹ de nitrogênio (N), com valores de 5,8, 10,3 e 10,4 m³ t⁻¹, respectivamente, para as cultivares Orelha de Elefante, Baiana e Miúda. Observa-se que, a cultivar Orelha de Elefante (gênero *Opuntia*) propiciou a menor pegada hídrica verde, enquanto a Baiana e Miúda (gênero *Nopalea*) tiveram o maior consumo de água verde (PHV).

O decréscimo da PHV quando se elevou as lâminas de irrigação e as doses de nitrogênio, pode ser justificado pelo fato da maior produtividade das cultivares de palma forrageira com fertirrigação de 125% da ET₀ e 600 kg ha⁻¹ de N.

Silva et al. (2015) avaliando a pegada hídrica verde da cana-de-açúcar (metabolismo C4) cultivada no Estado da Paraíba, constataram

médias de 56,9; 55,7; 51,1 e 50,2 m³ t⁻¹, respectivamente, para as lâminas de irrigação de 25, 50, 75 e 100% da evapotranspiração de referência (ET₀).

Carvalho e Menezes (2014) estudando a pegada hídrica do capim-buffel (metabolismo C4), observaram no tratamento testemunha (sem adubação) pegada hídrica de 1.527,0 m³ ton⁻¹, enquanto, as plantas com adubo químico reduziram a PH para 1.168,0 m³ ton⁻¹, o que equivale a uma redução de 23,0% na pegada hídrica da cultura (Edvan et al., 2010).

Os resultados verificados por estes autores são superiores aos observados no presente estudo, possivelmente, em função da palma forrageira ser uma planta com Metabolismo Ácido das Crassuláceas (CAM). Segundo Taiz e Zeiger (2013), as plantas CAM ao abrirem os estômatos à noite reduzem a perda de água para o ambiente, ao mesmo tempo em que, permitem a entrada de CO₂. Este metabolismo permite a palma forrageira produzir biomassa verde utilizando um menor volume de água.

Pegada hídrica azul

Os resultados da pegada hídrica azul (PHA) para as três cultivares de palma forrageira

em função das lâminas de irrigação e doses de

nitrogênio encontram-se na Figura 2.

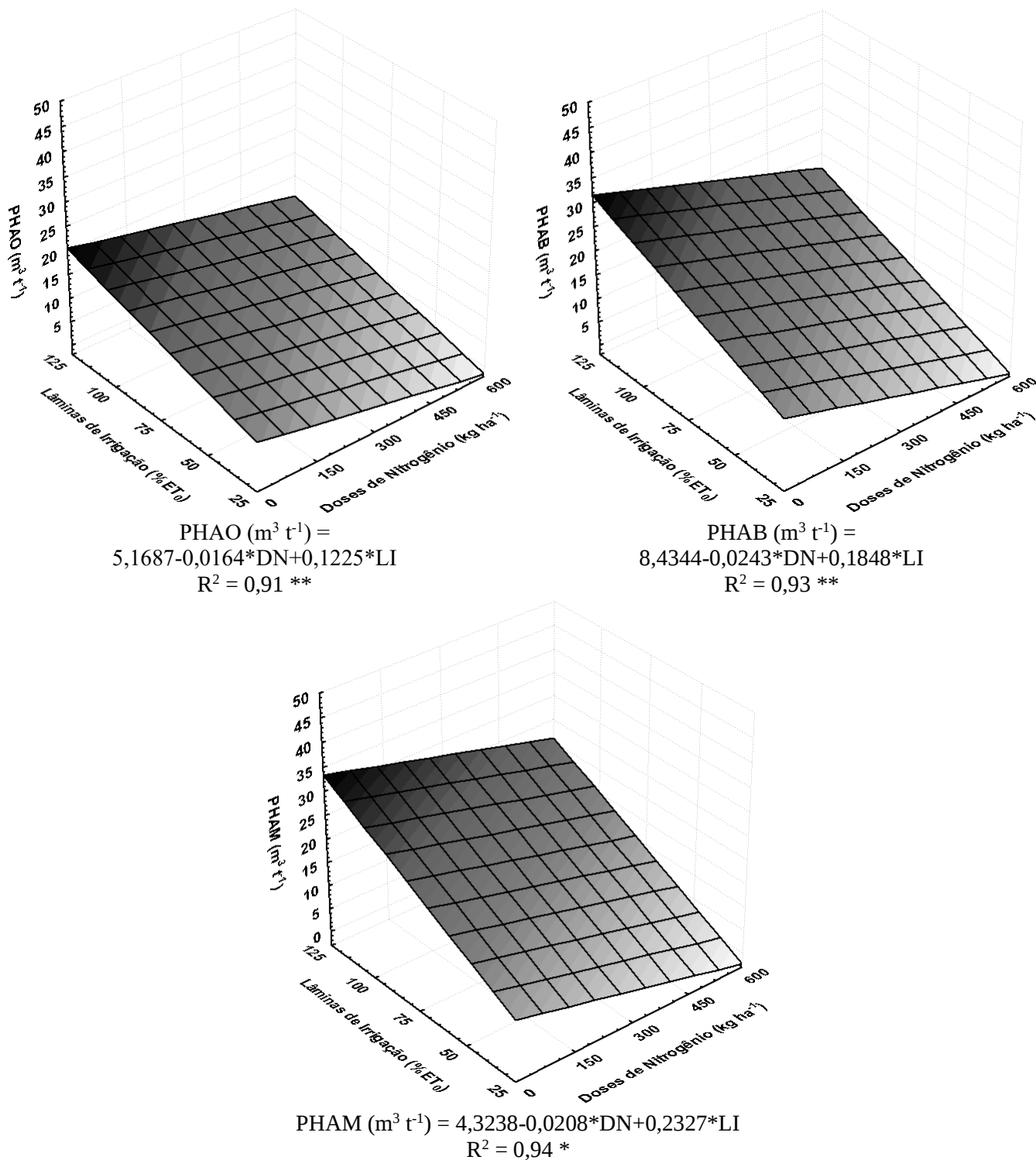


Figura 2. Pegada hídrica azul para as cultivares de palma forrageira Orelha de Elefante (PHAO), Baiana (PHAB) e Miúda (PHAM) em função das lâminas de irrigação e doses de nitrogênio. *, ** Significativo em nível de 0,05 e 0,01 de probabilidade, respectivamente.

A pegada hídrica azul das três cultivares

de palma forrageira alcançaram os maiores índices na lâmina de irrigação de 125% da ET₀ e adubadas com 0 kg ha⁻¹ de nitrogênio, com médias

de 20,5, 31,5 e 33,4 m³ t⁻¹, respectivamente, para as cultivares Orelha de Elefante, Baiana e Miúda.

Verifica-se também que, o aumento do volume de água aplicado através da irrigação elevou o consumo de água azul (PHA), sendo a menor pegada hídrica azul a da lâmina de irrigação de 25% da ET₀. O acréscimo nas doses de nitrogênio diminuiu o consumo de água azul, sendo o menor valor de PHA alcançado na DN de 600 kg ha⁻¹.

Ribeiro (2019) pesquisando a análise da sustentabilidade ambiental na cana-de-açúcar utilizando a pegada hídrica constatou consumo de água azul (PHA) de 214,0 m³ t⁻¹ na safra 2017/2018. Este valor é superior aos desse estudo para a pegada hídrica azul, provavelmente, em função do metabolismo C4 da cana-de-açúcar.

Em estudo sobre a pegada hídrica na

produção de colmos de cana-de-açúcar cultivada com e sem irrigação, Santiago et al. (2017) verificaram um consumo de água azul de 52,0 m³ t⁻¹. Este resultado encontra-se próximo aos observados no presente estudo, no entanto, ainda é superior, podendo ser justificado pelo manejo utilizado no cultivo da cana-de-açúcar.

Pegada hídrica cinza

A partir das informações dos fungicidas e inseticidas (agrotóxicos) utilizados no cultivo da palma forrageira, foram determinadas as taxas de aplicações durante o período experimental, conforme apresenta a Tabela 2. Observa-se que, o inseticida Assist (Óleo Mineral) teve maior quantidade do produto químico aplicado durante o período experimental.

Tabela 2. Taxa de aplicação dos agrotóxicos utilizados no cultivo da palma forrageira.

Cultura	Agrotóxico	Classe	TAPC (L ha ⁻¹)	CP (g L ⁻¹)	NA	TAS (t ha ⁻¹)
Palma Forrageira	Calda bordalesa	Fungicida	0,5	5,0	2,0	0,000005
	Assist	Inseticida / acaricida	5,0	2,5	1,0	0,000013

*TAPC - Taxa de aplicação do produto comercial; CP - Concentração do produto; NA - Número de aplicações; e TAS - Taxa de aplicação da substância.

A utilização de agrotóxicos tem provocado à contaminação do meio ambiente, principalmente, pelo uso inadequado, e ainda, é agravado em função da permanência das substâncias químicas por muito mais tempo do que o necessário no ambiente. Tavella et al. (2011) explicam que, é necessário tomar cuidados na aplicação dos agrotóxicos e com a disposição final adequada desses resíduos para não comprometer o meio ambiente.

Observa-se na Tabela 3, os fatores que influenciam no potencial da vazão de lixiviação das substâncias químicas dos agrotóxicos para os corpos de água. As propriedades químicas do solo, clima e da planta interferem no fator que determina o potencial de lixiviação e escoamento da substância presente no agrotóxico.

A área experimental foi classificada quanto à textura do solo como alto potencial de lixiviação; quanto ao conteúdo de matéria

orgânica em baixo potencial; quanto à intensidade de precipitação em baixo potencial de lixiviação, já para o escoamento foi considerado como de baixo potencial de lixiviação.

O estado do fator que determina o potencial de lixiviação e escoamento é expresso como um valor entre 0 e 1. As propriedades químicas dos agrotóxicos como coeficiente de partição de carbono orgânico no complexo solo-água, persistência relevante à lixiviação e escoamento com 50% do tempo de duração, também foram classificados quanto ao fator que relaciona o potencial de lixiviação e escoamento.

A lixiviação e o escoamento superficial merecem destaque, visto que, o escoamento superficial favorece a contaminação das águas superficiais, enquanto a lixiviação dos agrotóxicos através do perfil do solo resulta em contaminação das águas subterrâneas (Spadotto et al., 2004).

Tabela 3. Fatores que influenciam o potencial da vazão de lixiviação dos agrotóxicos.

Agrotóxicos

Categoria	Fator	Potencial de lixiviação e escoamento	Muito baixo	Baixo	Alto	Muito alto	
		Valor (S) →	0,00	0,33	0,67	1,00	
		Peso (w) ↓					
Propriedades químicas	K _{oc} (L.kg ⁻¹)	10	>1000	1000-200	200-50	<50	
	PL (D _{T50} dias)	10	<10	10-30	30-100	>100	
	PE (D _{T50} dias)	10	<10	10-30	30-100	>100	
Fatores ambientais	Solo	TSL	15	Argila	Silte	Franco	Areia
		TSE	10	Areia	Franco	Silte	Argila
		Conteúdo MO*(dag. Kg ⁻¹)	20	Ótimo >7,00	Bom 4,01-7,00	Médio 2,01-4,00	Baixo <2,00
	Clima	IP (mm)	5	Baixa	Moderada	Alta	Muita alta
		P (mm)	5	<600	600-1200	1200-1800	>1800
Práticas culturais	PM	10	Ótima	Boa	Ruim	Péssima	

K_{oc} = Coeficiente de partição de carbono orgânico do complexo solo-água; PL = Persistência relevante à lixiviação (50% do tempo de duração); PE = Persistência relevante ao escoamento (50% do tempo de duração); TSL = Textura do solo relevante à lixiviação; TSE = Textura do solo relevante ao escoamento; IP = Intensidade da precipitação; P = Precipitação; e PM = Práticas de manejo relevante para o escoamento.

A partir da Tabela 3 obtiveram-se os valores e pesos para cada agrotóxico referentes às propriedades químicas, fatores ambientais e práticas culturais, que influenciam na vazão de lixiviação e escoamento das substâncias químicas. Para as condições da área experimental, o solo foi considerado como de textura franco, um conteúdo de matéria orgânica baixa, a intensidade de precipitação baixa e práticas culturais relativas ao escoamento baixa (Tabela 4).

O coeficiente de partição de carbono orgânico do complexo solo-água (K_{oc}) dos agrotóxicos Calda Bordalesa e Assist foi classificado como muito baixo. Segundo Canuto et al. (2010) o coeficiente de partição de carbono orgânico do complexo solo-água (K_{oc}) é um parâmetro que estima a partição de uma substância no sistema solo-água, ou seja, o quanto dela tem afinidade com o solo sem ser arrastada pela água.

Os agrotóxicos que possuem baixo K_{oc}

apresentam baixa tendência de adsorver no solo, tendo mais facilidade de atingir os corpos aquáticos e, assim, possuem maior mobilidade e alta solubilidade aumentando a probabilidade de contaminação das águas subterrâneas (Carbo et al., 2008; Arias-Estévez, 2008).

Os agrotóxicos Calda Bordalesa e Assist foram classificados como de baixa persistência a lixiviação, enquanto para a persistência ao escoamento a Calda Bordalesa como de baixa persistência e o Assist como de muito baixa persistência.

O conhecimento da persistência destes agrotóxicos no solo é importante, pois a persistência dos agroquímicos no meio ambiente representa a sua capacidade em desenvolver atividade residual durante um determinado período, ou seja, com uma maior persistência possui maior risco de contaminação das águas (Dan et al., 2010).

Tabela 4. Valores e pesos dos agrotóxicos, dos fatores referentes às propriedades químicas, fatores ambientais e práticas culturais, que influenciam na vazão de lixiviação e escoamento na área de estudo.

Agrotóxico	K _{oc}	PL	PE	TSL	TSE	MO	IP	P	PM
------------	-----------------	----	----	-----	-----	----	----	---	----

	(L kg ⁻¹) 10*	(dias) 10*	(dias) 10*	15*	10*	(dag Kg ⁻¹) 20*	5*	(mm) 5*	10*
Calda	>1000	10-30	10-30	F	F	B	B	500	B
Bordalesa	(0,00)	(0,33)	(0,33)	(0,67)	(0,33)	(0,33)	(0,00)	(0,00)	(0,33)
Assist	>1000	10-30	<10	F	F	B	B	500	B
	(0,00)	(0,33)	(0,00)	(0,67)	(0,33)	(0,33)	(0,00)	(0,00)	(0,33)

F - referente à textura do solo (Franco); B - referente ao conteúdo de matéria orgânica (Baixo); B - referente à intensidade de precipitação da região (Baixa); B - referente às práticas culturais relevantes ao escoamento (Baixo). Koc - Coeficiente de partição de carbono orgânico do complexo solo-água; PL - Persistência relevante à lixiviação (50% do tempo de duração); PE - Persistência relevante ao escoamento (50% do tempo de duração); TSL - Textura do solo relevante à lixiviação; TSE - Textura do solo relevante ao escoamento; MO - conteúdo de matéria orgânica; IP - Intensidade da precipitação; P - Precipitação; e PM - Práticas de manejo relevante para o escoamento.

Na área experimental, a textura do solo relevante à lixiviação (TSL) e ao escoamento (TSE) foram classificadas como de alta e baixa, respectivamente. O conteúdo de matéria orgânica presente no solo é baixo. A intensidade da precipitação é baixa e a precipitação muito baixa, e as práticas culturais do cultivo da palma forrageira foram consideradas baixas.

Matos et al. (2017) relatam que, estes fatores contribuem para que os agrotóxicos sejam ainda mais persistentes e causem maiores danos ao meio ambiente na área estudada. Segundo Augusto (2003), o uso intenso de agrotóxicos em regiões com precipitação concentrada apenas em uma época do ano, ou mesmo pelo uso da irrigação, provocam forte escoamento superficial, além da contaminação dos recursos hídricos disponíveis.

Na tabela 5 encontra-se a pegada hídrica cinza de cada agrotóxico utilizado em um hectare cultivado com palma forrageira na área experimental. Observa-se que, a Calda Bordalesa possui maior valor para fração de lixiviação-vazão. O óleo mineral (Assist) evidenciou a maior taxa total de aplicação da substância e carga de poluente na substância, sendo considerada a mesma concentração máxima permitida.

O agrotóxico Assist (óleo mineral) favoreceu o maior valor de pegada hídrica cinza em 01 hectare cultivado com palma forrageira. Desta forma, a pegada hídrica cinza para a palma forrageira foi calculada, levando em consideração o poluente mais crítico (Assist), pois o volume de água necessário para diluir o poluente mais crítico automaticamente dilui os poluentes menos críticos.

Tabela 5. Pegada hídrica cinza devido à exploração agrícola, de cada agrotóxico utilizado em um hectare cultivado com palma forrageira.

Cultura	Agrotóxico	α	T _{ta} pl (t)	L (t)	C _{max} (t m ⁻³)	PHC* (m ³)
Palma Forrageira	Calda Bordalesa	0,046	0,000005	0,0000002	1,0x10 ⁻¹⁰	2300,0
	Assist	0,042	0,000013	0,0000005	1,0x10 ⁻¹⁰	5250,0

(α) - Fração de lixiviação-vazão; T_{ta}pl - Taxa total de aplicação da substância; L - Carga poluente da substância; C_{max} - Valor da concentração máxima permitida; *PHC - Pegada hídrica anual da substância devido à exploração agrícola de 01 hectare.

A pegada hídrica cinza (PHC), levando em consideração o poluente mais crítico (Assist) para as três cultivares de palma forrageira

estudada em função das lâminas de irrigação e doses de nitrogênio encontram-se na Figura 3.

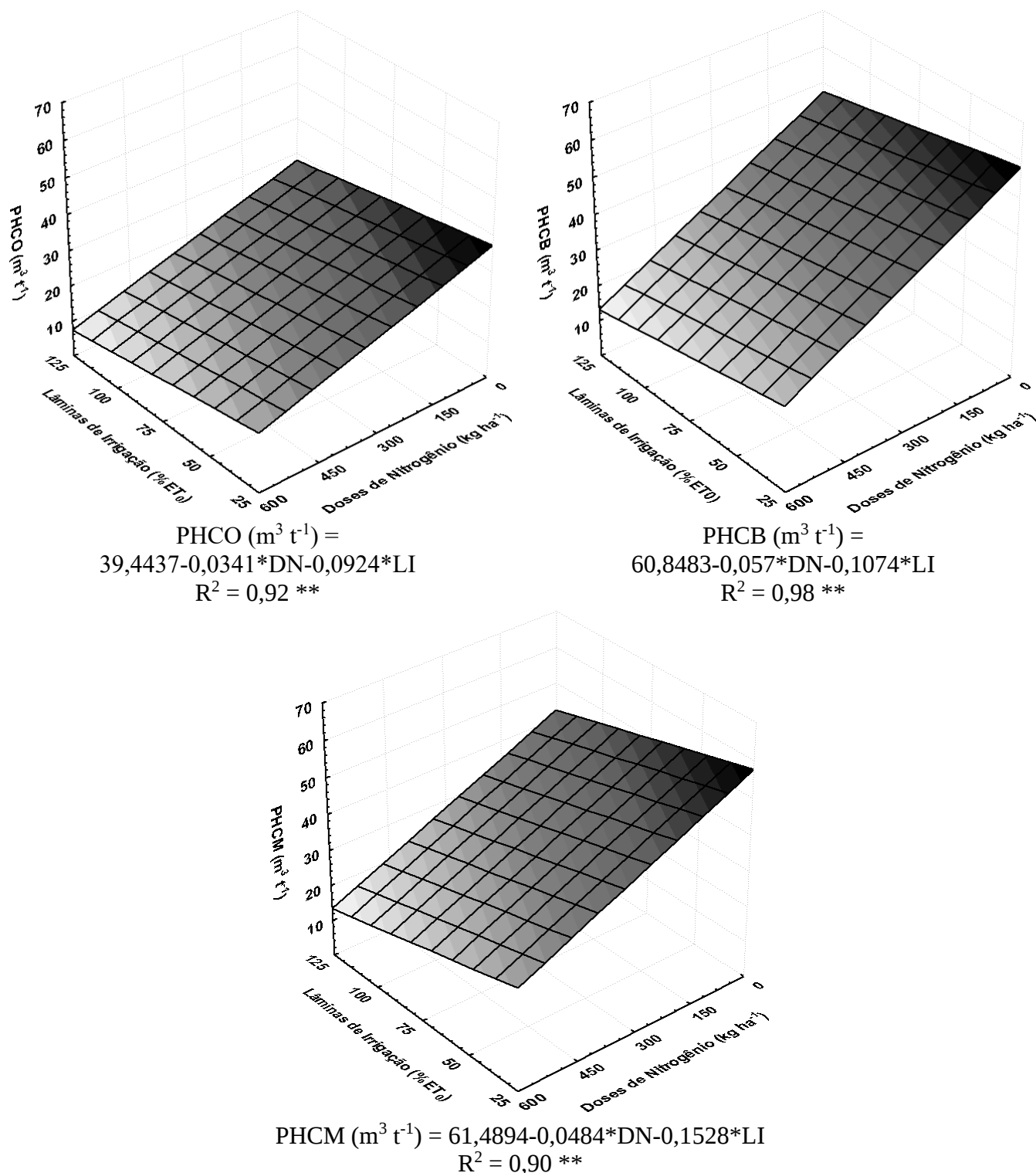


Figura 3. Pegada hídrica cinza dos agrotóxicos para as cultivares de palma forrageira Orelha de Elefante (PHCO), Baiana (PHCB) e Miúda (PHCM) em função das lâminas de irrigação e doses de nitrogênio. *, ** Significativo a 0,05 e 0,01 de probabilidade, respectivamente.

A maior necessidade de água para diluir os poluentes (PHC), para as três cultivares de palma forrageira foi observada nos tratamentos irrigados com 25% da ET_0 e fertirrigado com 0 kg

ha^{-1} de nitrogênio, sendo as médias de 37,1, 58,2 e 57,7 $\text{m}^3 \text{t}^{-1}$, respectivamente, para Orelha de Elefante, Baiana e Miúda. Estes valores de pegada hídrica cinza é o volume de água doce necessário

para assimilar a carga dos poluentes, com base nos padrões de qualidade ambiental da água (Hoekstra e Chapagain, 2008; Hoekstra, 2011).

O aumento da lâmina de irrigação reduziu o consumo de água cinza (PHC), onde a menor pegada hídrica cinza foi constatada com 125% da ET_0 . Isto pode ser justificado pelo maior volume de água ter diluído os poluentes e, dessa forma, reduzindo a pegada hídrica cinza dos agrotóxicos utilizados no cultivo da palma forrageira.

Quando aumentou a dose de nitrogênio aplicada ocorreu uma redução na pegada hídrica cinza, sendo o menor consumo de água necessário para diluir os poluentes observados na dose de 600 kg ha⁻¹ de nitrogênio. Outro fator que contribuiu para redução da PHC foi a maior produtividade

das cultivares de palma forrageira observada na maior dose de nitrogênio aplicada.

Silva et al. (2015) constataram pegada hídrica cinza de 13,6 m³ t⁻¹ ao irrigar a cana-de-açúcar com 25% da ET_0 e de 11,6 m³ t⁻¹ na lâmina de irrigação de 100% da ET_0 . Observa-se que, o aumento da lâmina de irrigação também diminuiu a PHC, reafirmando os resultados obtidos no presente estudo.

Pegada hídrica total

Os valores totais das componentes verde, azul e cinza da pegada hídrica da palma forrageira cultivada sob lâminas de irrigação e doses de nitrogênio estão dispostos na Tabela 6.

Tabela 6. Pegada hídrica total verde, azul e cinza da palma forrageira cultivada sob lâminas de irrigação e doses de nitrogênio.

Cultivares	Pegada hídrica			
	Verde	Azul	Cinza	PH Total (cultivares)
	(m ³ t ⁻¹)			
Orelha	17,3	9,4	22,3	49,0
Baiana	27,7	15,0	35,7	78,4
Miúda	27,6	15,5	35,5	78,6
PH Média	24,2	13,3	31,1	68,6

O menor valor de pegada hídrica total para as cultivares foi identificado na Orelha de Elefante (49,0 m³ t⁻¹), enquanto que, as cultivares Baiana (78,4 m³ t⁻¹) e Miúda (78,6 m³ t⁻¹) tiveram as maiores pegadas hídricas totais. A menor pegada hídrica total pertencente a Orelha de Elefante, possivelmente, está relacionada à maior produção de biomassa verde desta cultivar quando comparada a Baiana e Miúda.

Para as componentes verde, azul e cinza o menor consumo foi de água azul (13,3 m³ t⁻¹), seguido do consumo de água verde (24,2 m³ t⁻¹), sendo o maior consumo de água cinza (31,1 m³ t⁻¹), e pegada hídrica total verde, azul e cinza de 68,6 m³ t⁻¹. Portanto, no cultivo de palma forrageira a menor demanda foi de água proveniente do poço amazonas (PH azul), e com isso, a contribuição da precipitação efetiva foi maior (PH verde), sendo o maior volume de água utilizado para a diluição dos poluentes (PH cinza).

Carvalho e Menezes (2014), estudaram a pegada hídrica da palma forrageira (*Opuntia* sp.) cultivada sob diferentes manejos de adubação e

densidade de plantio, onde o cálculo foi realizado em função da precipitação pluvial e produtividade da cultura, constataram pegada hídrica de 177,2 m³ t⁻¹ (clone IPA-20); 211,7 m³ t⁻¹ (cultivar gigante); 260,0 m³ t⁻¹ (cultivar redonda) e 296,3 m³ t⁻¹ (cultivar miúda) (Santos et al., 2005). Os resultados destes autores são superiores aos obtidos no presente estudo para a pegada hídrica total verde, azul e cinza da palma forrageira.

Mekonnen e Hoekstra (2011), estimaram a pegada hídrica média global para o sorgo forrageiro (metabolismo C4) de 2857,0; 103 e 87,0 m³ t⁻¹, respectivamente, para as pegadas hídricas verde, azul e cinza. Os valores obtidos para o sorgo são superiores aos alcançados no presente estudo. Os autores também indicaram a pegada hídrica média global da cana-de-açúcar (metabolismo C4) de 139,0, 57,0 e 13,0 m³ t⁻¹, respectivamente, para as pegadas hídricas verde, azul e cinza. A pegada hídrica cinza da cana-de-açúcar obtida por estes autores é inferior ao resultado alcançado no presente estudo.

Conclusões

O aumento na dose de nitrogênio aplicada reduziu a pegada hídrica verde, azul e cinza das cultivares de palma forrageira.

O acréscimo na lâmina de irrigação diminuiu a pegada hídrica verde e cinza, e aumentou a azul.

A cultivar Orelha de Elefante propiciou a menor pegada hídrica verde, azul e cinza.

A pegada hídrica é um importante indicador, capaz de monitorar o impacto do consumo de água das culturas irrigadas e adubadas sobre o meio ambiente.

A pegada hídrica das cultivares de palma forrageira irrigada e adubada é a menor encontrada na literatura, entre as plantas irrigadas, evidenciando o grande potencial dessa forrageira para regiões com pouca disponibilidade de água, como o semiárido brasileiro.

Agradecimentos

O primeiro autor agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de Pós-Doutorado Junior (PDJ).

Referências

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 300p. (FAO.Irrigation and Drainage Paper, 56). Disponível: <https://www.fao.org/3/x0490e/x0490e00.htm>. Acesso: 23 ago. 2022.
- Arias-Estevez, M. 2008. The mobility and degradation of pesticides in soils and the pollution of groundwater resources. Agriculture, Ecosystems and Environment [Online] 123, 247-260. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2007.07.011>. Acesso: 14 jul. 2022.
- Augusto, L.G.S. 2003. Uso dos agrotóxicos no semi-árido brasileiro. In: PERES, F., and MOREIRA, J.C., orgs. É veneno ou é remédio?: agrotóxicos, saúde e ambiente [online]. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, p. 59-73. ISBN 85-7541-031-8. Available from Scielo Books.
- Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). 2005. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Brasília, DF.
- Canuto, T.G., Gama, A.F., Barreto, F.M.S., Alencar Neto, M.F.A. 2010. Estimativa do risco potencial de contaminação por pesticidas de águas superficiais e subterrâneas do município de Tianguá-CE, com aplicação do método de GOSS e índice de GUS, In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 16.; Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, 17, São Luis. Anais... São Luis: ABAS, p. 01-20.
- Carbo, L., Souza, V., Dores, E.F.G.C., Ribeiro, M.L. 2008. Determination of pesticides multiresidues in shallow groundwater in a cotton-growing region of Mato Grosso, Brazil. J Braz Chem Soc. [Online] 19, 1111-1117. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-50532008000600009>. Acesso: 27 set. 2022.
- Carvalho, A.L., Menezes, R.S.C. 2014. Pegadas hídricas em sistemas agropecuários na região semiárida do Nordeste do Brasil. Revista Agro@mbiente On-line [Online] 8, 142-148. Disponível: <https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v8i1.1315>. Acesso: 08 abr. 2022.
- Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y. 2011. The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives. Ecological Economics [Online] 70, 749-758. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.11.012>. Acesso: 16 fev. 2022.
- Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y. 2008. The global component of freshwater demand and supply: An assessment of virtual water flows between nations as a result of trade in agricultural and industrial products. Water International [Online] 33, 19-32. Disponível: <https://doi.org/10.1080/02508060801927812>. Acesso: 16 fev. 2022.
- Dan, H.A., Dan, L.G.M., Barroso, A.L.L., Procópio, S.O., Oliveira Jr., R.S., Assis, R.L., Silva, A.G. 2010. Feldkircher, C. Seletividade do herbicida tembotrione a cultura do milho. Planta Daninha [Online] 28, 793-799. Disponível: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582010000400012>. Acesso: 02 fev. 2022.
- Dubeux Júnior, J.C.B., Araújo Filho, J.T., Santos, M. V. F., Lira, M.A., Santos, D.C., Pessoa, R. A. S. 2013. Potential of cactus pear in South América. Cactusnet Newsletter 13, 29-40.
- Edvan, R.L., Santos, E.M., Vasconcelos, W.A., Souto Filho, L.T., Borburema, J.B., Medeiros, G.R., Andrade, A. P. 2010. Utilização da adubação orgânica em pastagem de capim-buffel (*Cenchrus ciliaris* cv. Molopo). Archivos de

- Zootecnia [Online] 59, 499-508. Disponível: <https://scielo.isciii.es/pdf/azoo/v59n228/art3.pdf>. Acesso: 24 set. 2022.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2014. Sistema brasileiro de classificação de solos. 4.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 353p.
- Franke, N.A., Boyacioglu, H., Hoekstra, A.Y. 2013. Grey water footprint accounting – Tier 1 Supporting Guidelines. Delft, The Netherlands: UNESCO–IHE, 64p. (Value of Water Research Report Series, n.65).
- Gerbens-Leenes, P.W., Hoekstra, A.Y. 2009. Van Der Meer, T.H. The water footprint of energy from biomass: A quantitative assessment and consequences of an increasing share of bio-energy in energy supply. Ecological Economics [Online] 68, 1052-1060. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.07.013>. Acesso: 24 set. 2022.
- Hoekstra, A.Y. How sustainable is Europe's water footprint?. 2011. Water and Wastewater International [Online] 26, p.24-26. Disponível: <http://www.wwinternational.com>. Acesso: 31 out. 2022.
- Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M., Mekonnen, M.M. 2011. The water footprint assessment manual. 1.ed. London: Water Footprint Network, 224p.
- Hoekstra, A.Y., Hung, P.Q. 2002. Virtual water trade: a quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. Value of Water Research Report Series. No. 11. UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.
- Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K. 2008. Globalization of water: Sharing the planet's freshwater resources. [S.l.]: Blackwell Publishing 220p.
- INERIS – Portail Substances Chimiques. 2013. Disponível em: <http://www.ineris.fr/substances/fr/page/9>. Acesso em 15 de dezembro de 2017.
- Mantovani, E.C., Bernardo, S., Palaretti, L.F. 2012. Irrigação: princípios e métodos. Viçosa: UFV, 3. ed atual e ampliado. 355p.
- Matos, R.M., Borges, V.E., Lima, A.S., Silva, P.F., Dantas Neto, J., Lima, V.L.A. 2017. Sustainability of the grey water footprint (GWF) for cultivation of onion in the Brazilian semi-arid regions. Australian Journal of Crop Science [Online] 11, 749-756. Disponível: [10.21475/ajcs.17.11.06.p569](https://doi.org/10.21475/ajcs.17.11.06.p569). Acesso: 18 set. 2022.
- Medeiros, R.M., Francisco, P.R.M., Matos, R.M., Santos, D., Sousa, T.P. 2015. Caracterização agroclimática e aptidão de culturas para diferentes municípios e regiões da Paraíba. Revista Agropecuária Científica no Semi-Árido [Online] 11, 99-110. Disponível: <http://dx.doi.org/10.30969/acsa.v11i2.614>. Acesso: 09 nov. 2022.
- Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y. 2011. The green blue and grey water footprint of crops and derived crop products. Hydrol. Earth Syst. Sci. [Online] 15, 1577-1600. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5194/hess-15-1577-2011>. Acesso: 12 ago. 2022.
- Nyambo, P., Wakindiki, I.I.C. 2015. Water footprint of growing vegetables in selected smallholder irrigation schemes in South Africa. AJOL [Online] 41, 5571-578. Disponível: <http://dx.doi.org/10.4314/WSA.V41I4.17>. Acesso: 17 dez. 2022.
- Pinheiro, K.M., Silva, T.G.F., Carvalho, H.F.S., Santos, J.E.O., Morais, J.E.F., Zolnier, S., Santos, D.C. 2014. Correlações do índice de área do cladódio com características morfogênicas e produtivas da palma forrageira. Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira [Online] 49, 939-947. Disponível: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014001200004>. Acesso: 15 jun. 2022.
- Ribeiro, G.A. 2019. Análise da sustentabilidade ambiental na agroindústria canavieira utilizando a pegada hídrica. 2019.125f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande - PB.
- Rivas Ibáñez, G., Molina Ruíz, B.J.M., Román Sánchez, M.I., Casas López, J.L. 2017. A corporate water footprint case study: The production of Gazpacho, a chilled vegetable soup. Water Resour and Industry [Online] 17, 34-42. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.wri.2017.04.001>. Acesso: 03 mar. 2022.
- Roux, B.L., Vahrmeijer, T., Keith, L., Bristow, K.L. 2016. Estimating water footprints of vegetable crops: influence of growing season, solar radiation data and functional unit. Water [Online] 8, 473-493. Disponível: <https://doi.org/10.3390/w8100473>. Acesso: 15 fev. 2022.
- Sales, A.T., Leite, M.L.M.V., Alves, A.Q., Ramos, J.P.F., Nascimento, J.P. 2013. Crescimento vegetativo de palma forrageira em diferentes densidades de plantio no Curimatú Paraibano. Tecnologia & Ciência Agropecuária 7, 19-24.

- Santiago, A.D., Chico, D., Andrade Junior, A.S., Garrido, A., Carnaúba, P.J.P. 2017. Pegada hídrica da cana-de-açúcar e etanol produzidos no estado de Alagoas, Brasil. *Revista Agrometeoros* [Online] 25, 209-216. Disponível: <http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v25i1.26281>. Acesso: 15 fev. 2022.
- Santos, D.C., Farias, I., Lira, M.A., Dias, F.M., Santos, M.V.F., Ferraz, I. 2005. Produtividade de clones de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*), Caruaru-PE. In: VII ZOOTEC, 2005, Campo Grande, MS. Anais do VII ZOOTEC. Campo Grande, MS: Associação Brasileira de Zootecnistas, v.único, p.1-5.
- Santos, D.C., Farias, I., Lira, M.A., Santos, M.V.F., Arruda, G.P., Coelho, R.S.B., Dias, F.M., Melo, J.N. 2006. Manejo e utilização da palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) em Pernambuco. Recife: IPA, 48p. (IPA. Documentos, 30).
- Silva, P.F. 2017. Crescimento e produtividade de palma forrageira sob diferentes lâminas de irrigação e adubação nitrogenada. 2017. 66f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB.
- Silva, V.P.R., Albuquerque, M.F., Araújo, L.E., Campos, J.H.B.C., Garcêz, L.S.A., Almeida, R.S.R. 2015. Medições e modelagem da pegada hídrica da cana-de-açúcar cultivada no Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* [Online] 19, 521-526. Disponível: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n6p521-526>. Acesso: 24 mai. 2022.
- Silva, V.P.R., Aleixo, D.O., Dantas Neto, J., Maracajá, K.F.B., Araújo, L.E. 2013. Uma medida de sustentabilidade ambiental: pegada hídrica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* [Online] 17, 100-105. Disponível: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000100014>. Acesso: 14 abr. 2022.
- Spadotto, C.A., Gomes, M.A.F., Luchini, L.C., Andréa, M.M. 2004. Monitoramento do risco ambiental de agrotóxicos: princípios e recomendações. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 29p. (Documentos 42).
- Suassuna, P. 1993. Lucratividade da Cultura da Palma Forrageira na Paraíba. Disponível em: <www.joaosuassuna.hpg.ig.com.br/sistprod.htm - 5k ->. Acesso em 16 de outubro de 2017.
- Taiz, L., Zeiger, E. 2013. Fisiologia vegetal. 5.ed. Porto Alegre:Artemed, 954p.
- Tavella, L.B., Silva, I.N., Fontes, L.O., Dias, J.R.M., Silva, M.I. 2011. O uso de agrotóxicos na agricultura e suas consequências toxicológicas e ambientais. *Agropecuária Científica no Semiárido* [Online] 7, 6-12. Disponível: <http://dx.doi.org/10.30969/acsa.v7i2.135>. Acesso: 14 abr. 2022.
- UE. 2013. Directive 2013/39/EU of the European Parliament and of the Council amending Directives 2000/60/EC and 2008/105/EC as regards priority substances in the field of water policy. European Union, Brussels. Belgium.