



664 - AVALIAÇÃO DA PEGADA HÍDRICA PARA O CULTIVO DE BATATA DOCE NA REGIÃO DO VALE DO IPOJUCA, PERNAMBUCO

Jocimar Coutinho Rodrigues Junior⁽¹⁾

Mestre em Engenharia Civil pelo Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Doutorando em Engenharia Civil pela UFPE.

Marcella Cynthia Cavalcante de Araujo⁽²⁾

Graduada em Engenharia Civil pelo Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Mestranda em Engenharia Civil pela UFPE.

Laura Gomes da Costa⁽³⁾

Graduada em Engenharia Civil pelo Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Mestranda em Engenharia Civil pela UFPE.

Anderson Luiz Ribeiro de Paiva⁽⁴⁾

Professor do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental (DECIV) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Doutor em Engenharia Civil pela UFPE.

Lourdinha Florêncio⁽⁵⁾

Professora do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental (DECIV) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Doutora em Tecnologia Ambiental pela Universidade de Wageningen-Holanda.

Endereço⁽¹⁾: Av. da Arquitetura, s/n - Cidade Universitária, Recife - PE, 50740-550 - Brasil - Tel: (81) 2126-8200 - e-mail: jocimar.junior@ufpe.br

RESUMO

A avaliação da pegada hídrica de cultivos agrícolas, é fundamental para compreender a sustentabilidade e o gerenciamento da água dos sistemas de agricultura, especialmente em regiões semiáridas, como o Vale do Ipojuca, no estado de Pernambuco. Neste contexto, este estudo tem como objetivo quantificar e avaliar a pegada hídrica da produção de batata-doce nesta região, considerando os componentes de pegada hídrica azul, verde, durante o período de 2010 a 2019. A pegada hídrica azul refere-se ao volume de água superficial e subterrânea utilizado para a irrigação das culturas, enquanto a pegada hídrica verde abrange a água da chuva incorporada no solo e utilizada pelas plantas. Para estimar estes componentes, foram utilizados dados climáticos disponíveis no INMET, para a área de estudo, e com base na metodologia do The Water Footprint Assessment Manual, foram calculadas as Pegadas Hídricas para os anos de 2010 a 2019. De acordo com os resultados, no período de estudo a Pegada Hídrica total variou entre 1.843,24 m³/ton (em 2012) e 3.461,45 m³/ton (em 2016), relevando que na localidade, o cultivo de Batata Doce teve variações a partir dos fatores climáticos, que possivelmente ocasionaram alterações na produtividade agrícola da área. Neste sentido, a sustentabilidade hídrica da produção de batata-doce no Vale do Ipojuca pode ser melhorada com a adoção de práticas agrícolas mais eficientes, como a utilização de sistemas de irrigação de alta eficiência para o clima semiárido da região, em conjunto com a implementação de técnicas de manejo integrado de nutrientes, para potencializar a produção e, conseqüentemente melhorar a produtividade do cultivo. Portanto, é possível constatar que a avaliação da pegada hídrica oferece uma ferramenta valiosa para orientar decisões agrícolas e de manejo de recursos hídricos, promovendo uma produção agrícola mais sustentável e resiliente no semiárido pernambucano.

PALAVRAS-CHAVE: Irrigação, Uso da Água, Produtividade Agrícola, Batata Doce.

INTRODUÇÃO

A agricultura, voltada para o cultivo de espécies agrícolas, emerge como a atividade de maior consumo de água globalmente, desempenhando um papel essencial na segurança alimentar da população (MOURA, 2017). A eficaz gestão da água na agricultura torna-se imperativa para maximizar os rendimentos das colheitas e fomentar a sustentabilidade ambiental. A irrigação, especialmente em regiões com chuvas escassas ou irregulares, é extensivamente empregada para assegurar o fornecimento hídrico adequado às culturas (SILVA, 2011).



A promoção de práticas agrícolas sustentáveis, juntamente com a conscientização sobre a preservação dos recursos hídricos, emerge como fator essencial para garantir tanto a segurança alimentar quanto a conservação do meio ambiente (FOLEGATTI et al., 2010). Neste cenário, introduz-se o conceito de Pegada Hídrica, um indicador quantitativo que abrange o uso direto e indireto da água em diversas atividades. Além disso, também pode ser compreendida como uma ferramenta valiosa para avaliar o impacto ambiental associado ao uso da água e identificar oportunidades para uma gestão sustentável (KOTSUKA, 2013).

No âmbito agrícola, a Pegada Hídrica engloba não apenas a água utilizada para a irrigação das culturas, mas também aquela incorporada nos insumos agrícolas e nos processos de produção (SILVA, 2018). O cultivo de certas espécies, tais como Batata Doce, Cana de Açúcar, Milho e Tomate, pode estar sujeito a práticas agrícolas que demandam volumes significativos de água, resultando em pegadas hídricas substanciais. Estas, por sua vez, exercem influência na disponibilidade local de água e impactam os ecossistemas aquáticos.

Ademais, a Pegada Hídrica apresenta uma subdivisão em três subindicadores conhecidos como Azul, Verde e Cinza. A Pegada Hídrica Azul refere-se à quantificação da água doce superficial e subterrânea consumida diretamente em atividades industriais, agrícolas e para atender às necessidades urbanas. A Pegada Hídrica Verde está intrinsecamente ligada à absorção e utilização, pelas plantas, da água proveniente das precipitações pluviométricas durante o processo de crescimento, assumindo papel crucial no âmbito agrícola. Por conseguinte, a Pegada Hídrica Cinza determina a quantidade de água necessária para diluir poluentes e resíduos, refletindo, assim, a deterioração da qualidade hídrica (HOEKSTRA et al., 2011).

Para estudos em cultivos agrícola, utiliza-se majoritariamente a Pegada Hídrica Azul e Verde. No caso da Pegada Hídrica Azul, este indicador refere-se ao uso de água superficial e subterrânea para irrigação, é um componente crítico que necessita de uma gestão eficiente para evitar o esgotamento desses recursos vitais. A implementação de sistemas de irrigação de alta eficiência, como a irrigação por gotejamento, pode reduzir significativamente a pegada hídrica azul ao fornecer água diretamente às raízes das plantas, minimizando perdas por evaporação e infiltração excessiva.

Em relação a Pegada Hídrica Verde, este indicador envolve a utilização da água da chuva armazenada no solo, com isso, destaca a importância das práticas de manejo que conservam a umidade do solo e aumentam a capacidade de retenção de água. Técnicas como o plantio direto, a cobertura do solo com palhada e a utilização de culturas de cobertura podem melhorar a eficiência do uso da água da chuva, reduzindo a necessidade de irrigação suplementar e, conseqüentemente, a pegada hídrica azul. Além disso, o desenvolvimento e a utilização de cultivares adaptadas às condições de baixa disponibilidade hídrica podem contribuir para uma produção agrícola mais resiliente.

No contexto agrícola, a Pegada Hídrica consiste em uma métrica essencial para avaliar a eficiência e sustentabilidade do uso da água nos sistemas de produção agrícola. A compreensão e a gestão eficaz da pegada hídrica agrícola são cruciais para promover a sustentabilidade hídrica, especialmente em regiões com recursos hídricos limitados, como o semiárido pernambucano. Diante do exposto, o objetivo deste estudo consiste em estimar a Pegada Hídrica referente ao cultivo de Batata Doce na região do Vale do Ipojuca, em Pernambuco, durante o período de 2010 a 2019, para averiguar o quantitativo de água requerido para o desenvolvimento do referido cultivo na área em questão.

MATERIAIS E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo (Figura 1) corresponde a microrregião do Vale do Ipojuca, no estado de Pernambuco, cuja localidade abrange 16 municípios, que em conjunto compreendem 16 municípios, 940.713 habitantes e 7.886 km² (IBGE, 2022). A área está inserida no Agreste de Pernambuco, englobando a bacia hidrográfica do rio Ipojuca (CONDEPE/FIDEM, 2006).

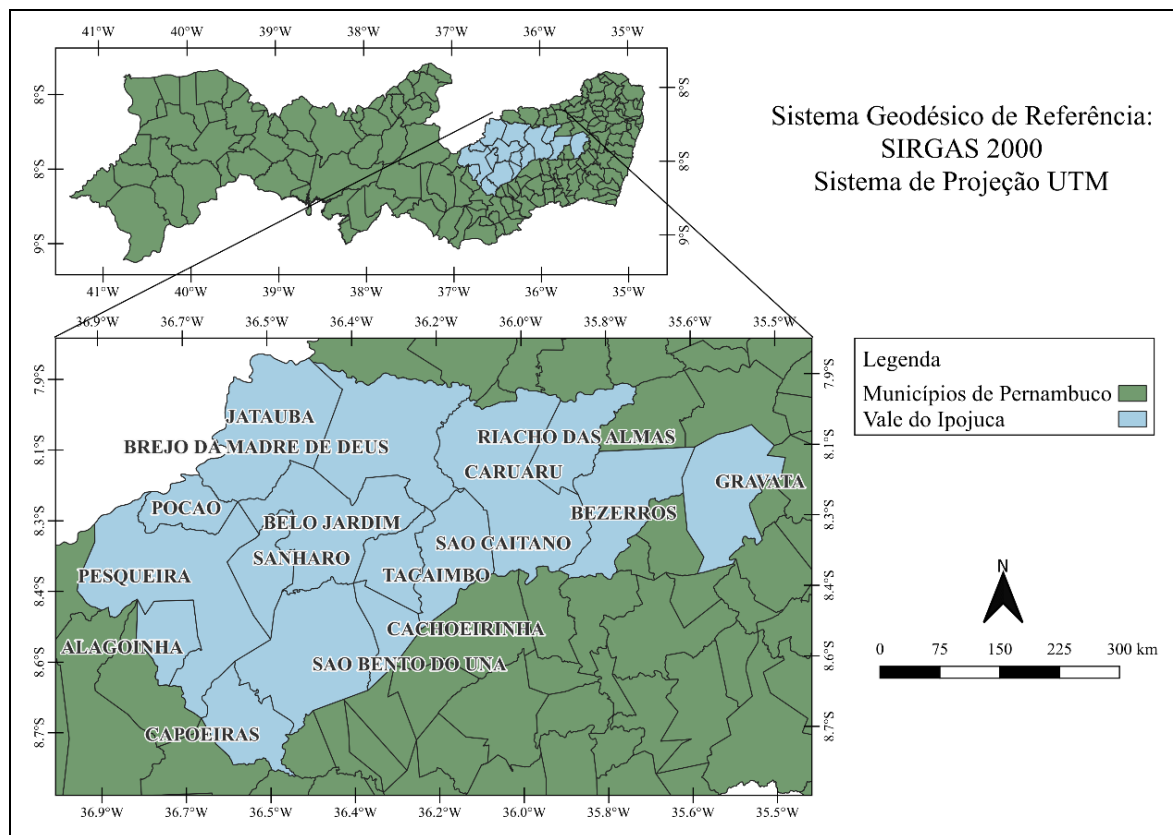


Figura 1: Localização da região do Vale do Ipojuca, em Pernambuco.

CÁLCULO DA PEGADA HÍDRICA

A metodologia utilizada para o cálculo da Pegada Hídrica da Batata Doce baseou-se nas recomendações do The Water Footprint Assessment Manual para cultivos agrícolas (HOEKSTRA et al., 2011). A estimativa teve como base a soma dos componentes Verde e Azul da Pegada Hídrica, que medem diferentes tipos e formas de apropriação de água.

A Pegada Hídrica Verde (m^3/ton) corresponde ao indicador do volume de água verde utilizada pela cultura, sendo a precipitação que não é transformada em escoamento superficial ou em infiltração para os aquíferos, conforme mostra a Equação 1. O consumo de água verde (DHC_{verde}) é estimado em função da evapotranspiração diária (ET) da água advinda da precipitação, durante o período de crescimento completo, como mostra a Equação 2.

$$PH_{proc,verde} = \frac{DHC_{verde}}{Prtv} \quad (1)$$

Onde:

$PH_{proc,verde}$ = Pegada Hídrica Verde (m^3/ton)

DHC_{verde} = Consumo (demanda) de água verde pela cultura (m^3/ha);

$Prtv$ = produtividade da cultura (ton/ha).

$$DHC_{verde} = 10 \cdot \sum_{d=1}^{pdc} ET_{verde} \quad (2)$$

Onde:



SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO
DE ENGENHARIA SANITÁRIA
E AMBIENTAL



DHCverde = Consumo (demanda) de água verde pela cultura (m³/ha);

ETverde = Evapotranspiração verde.

A Pegada Hídrica Azul (m³/ton) se refere ao indicador do volume de água azul, que advém da água superficial ou e subterrânea, consumida durante o processo de produção de bens e serviços (HOEKSTRA et al., 2011), conforme mostra a Equação 3. De mesma forma similar, o consumo de água azul (DHCazul) é resultado do somatório da evapotranspiração diária referente a água proveniente da água superficial ou subterrânea, conforme mostra a Equação 4. Compreende-se que esse consumo de água azul é estimado em função da evapotranspiração diária (ET) da água advinda do escoamento superficial ou subterrâneo (irrigação).

$$PH_{proc,azul} = \frac{DHC_{azul}}{Prtv} \quad (3)$$

Onde:

PHproc,azul = Pegada Hídrica Azul (m³/ton)

Cazul = Consumo (demanda) de água azul pela cultura (m³/ha);

Prtv = produtividade da cultura (ton/ha).

$$DHC_{azul} = 10 \cdot \sum_{d=1}^{pdc} ET_{azul} \quad (4)$$

Onde:

DHCverde = Consumo (demanda) de água azul pela cultura (m³/ha);

ET = Evapotranspiração azul.

No tange o cálculo da ETverde e da ETazul, as equações 5 e 6 revelam como ocorreu a estimativa destes parâmetros. A ETverde tem relação com a água precipitada que é usufruída pela planta, enquanto a ETazul tem relação com a água provenientes das fontes de escoamento superficial ou subterrâneo que, de forma geral, compreender o sistema de irrigação do cultivo agrícola.

$$ET_{verde} = \min(ET_c, P_{eff}) \quad (5)$$

Onde:

ETverde = Evapotranspiração verde (mm);

ETc = Evapotranspiração da cultura (mm);

Peft = Precipitação efetiva (mm).

$$ET_{azul} = \max(0, ET_c - P_{eff}) \quad (6)$$

Onde:

ETverde = Evapotranspiração azul (mm);

ETc = Evapotranspiração da cultura (mm);

Peft = Precipitação efetiva (mm).

Os dados de clima utilizados para as estimativas de Pegada Hídrica foram obtidos com base na estação meteorológica de Surubim (INMET, 2023) e, com o uso no software CROPWAT 8.0 (HOEKSTRA et al., 2011) foram modeladas as variáveis climáticas e, obtidos os valores de ETazul e ETverde do cultivo de Batata Doce na área de estudo, entre os anos de 2010 e 2019.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados para o período de estudo, que compreende 2010-2019, mostram que o produtividade de Batata Doce (Figura 2), oscilou ao longo do tempo. Nos 10 anos de estudo, houve uma média de produtividade de 5,06 ton/hect, tendo o ano de 2018 como o de maior produtividade (6,12 ton/hect) e, o ano de 2016 como o de menor produtividade (3,33 ton/hect). Os anos de 2010 e 2013 também são períodos com produtividade abaixo dessa média.

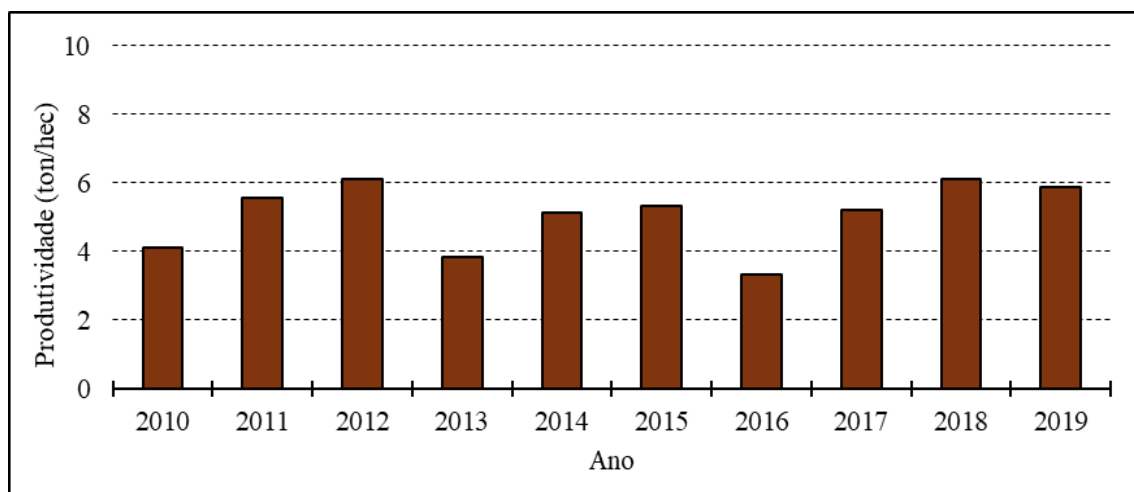


Figura 2: Produtividade da Batata Doce no Vale do Ipojuca.
Fonte: IBGE (2022).

O regime de precipitação anual (Figura 3), revela que a média de precipitação do período de estudo corresponde a 560,18 mm, sendo que os anos de 2012, 2013, 2015, 2016, 2017 e 2019, ficaram abaixo dessa média, sendo anos de seca. É válido salientar que dentre estes anos de baixos índices pluviométricos, há o ano de 2016, como o de menor produtividade. Entretanto, há anos como 2012 (376,9 mm), que mesmo com baixa precipitação, houve uma produtividade elevada (6,12 ton/hec).

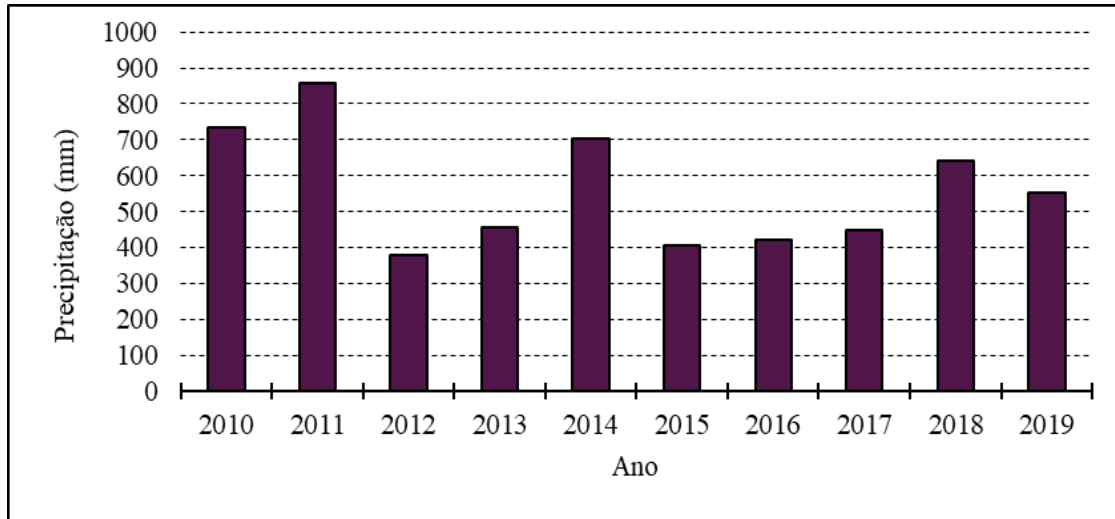


Figura 3: Precipitação anual no Vale do Ipojuca.

A estimativa da Pegada Hídrica entre 2010 e 2019 (Figura 4), revela que houve variações entre a Pegada Hídrica Verde e Azul. Os anos de 2010 e 2011, foram os únicos anos em que a Pegada Hídrica Verde (1.405 m³/ton e 1.243 m³/ton, respectivamente), foram maiores do que a Pegada Hídrica Azul (1.377 m³/ton e 744 m³/ton, respectivamente). Este resultado já era esperado, em razão da alta precipitação de 2010 (733 mm) e 2011 (859,4 mm), em que foi possível haver o desafogamento das fontes de irrigação.

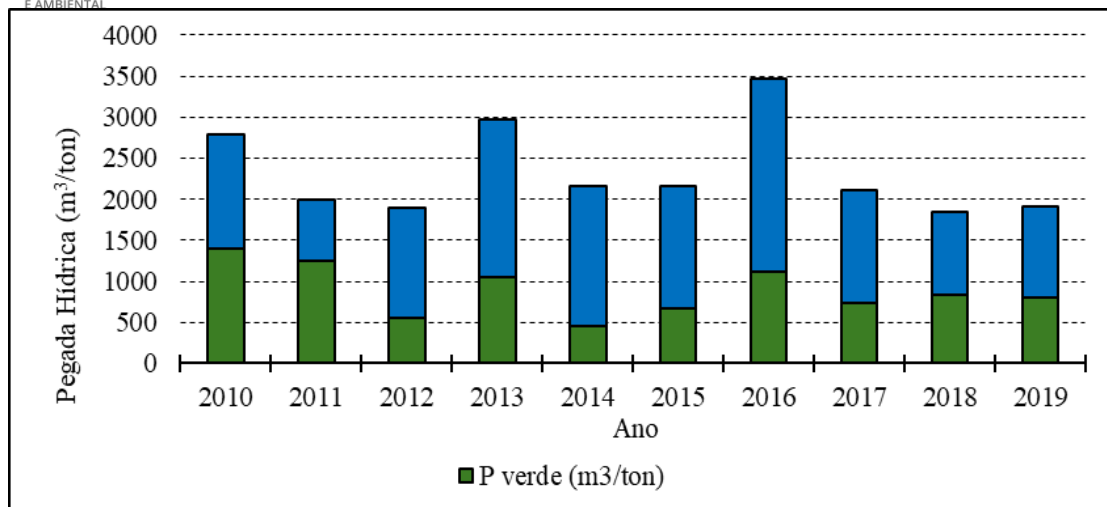


Figura 4: Pegada Hídrica do Cultivo de Batata Doce no Vale do Ipojuca.

A Pegada Hídrica total média durante os anos de 2010 e 2019, foi de 2327.40 m³/ton, apresentando um alto valor para o cultivo de Batata Doce, que pode estar relacionado com a produtividade local. O estado de Pernambuco é um dos dez maiores estados produtores de Batata Doce, entretanto, a produtividade média para o Vale do Ipojuca (5,06 ton/hect), está cerca de 66% abaixo da média nacional, que consiste em 14,5 ton/hect (IBGE, 2023). Assim, há grande utilização de água para uma produção com rendimento baixo, o que eleva a Pegada Hídrica.

Segundo Moura (2020), na região do agreste da bacia hidrográfica do rio Ipojuca, a Pegada Hídrica para Cana de Açúcar, é de 363,59 m³/ton, sendo mais de 90% menor do que a Pegada Hídrica obtida para a Batata Doce na mesma região. Este resultado discrepante possivelmente está relacionado com a alta produtividade da Cana de Açúcar, que correspondente a 46,42 ton/hect, sendo 90% maior do que a Batata Doce.

Neste sentido, no contexto do semiárido pernambucano, onde a disponibilidade de água é particularmente crítica, a avaliação da pegada hídrica agrícola e a implementação de práticas de irrigação eficiente e gestão sustentável da água são essenciais para garantir a viabilidade da produção agrícola. Estudos sobre a pegada hídrica, como o caso da batata-doce no Vale do Ipojuca, fornecem insights valiosos sobre como as variabilidades climáticas afetam o uso da água e a produtividade agrícola, destacando a necessidade de políticas públicas que incentivem a adoção de tecnologias e práticas sustentáveis.

A aplicação de estudos acerca da Pegada Hídrica para cultivos agrícolas pode ser considerada uma ferramenta fundamental para a gestão sustentável dos recursos hídricos na agricultura. A eficiência da irrigação e a gestão integrada da água são elementos chave para reduzir a pegada hídrica e promover a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Ademais, as políticas e práticas que incentivem a adoção de tecnologias eficientes e a gestão racional dos recursos hídricos são essenciais para assegurar a produção agrícola sustentável, especialmente em regiões semiáridas.

É relevante salientar que a produção agrícola concentra o maior consumo de água, representando 99% da pegada global de água azul e verde (MEKONNEN; HOEKSTRA, 2014). Em se tratando da produção agroindustrial de Batata Doce. Assim, os resultados da Pegada Hídrica no cultivo de Batata Doce forneceram uma base sólida para a elaboração de estratégias de gestão da água que considerem as especificidades climáticas e agrícolas da região semiárida de Pernambuco. Neste contexto, a análise detalhada da pegada hídrica pode servir como um guia para a implementação de práticas que aumentem a resiliência da agricultura às variabilidades climáticas e garantam a viabilidade econômica e ambiental da produção de batata doce.

No que concerne a Batata Doce, a versatilidade da utilização da batata doce é uma importante propriedade característica da cultura. Diversos estudos relevam que a sua biofortificação é uma estratégia promissora para reduzir deficiência de vitaminas na dieta humana e a fome no planeta (NASCIMENTO et al., 2013; NKHATA



et al., 2020). Além do uso em alimentação e dieta, a batata doce também demonstrou viabilidade técnica para produção de bioetanol (MUSSOLINE et al., 2017), constituindo-se como mais uma cultura que possui potencial energético, podendo se tornar uma alternativa sustentável às fontes convencionais de origem fóssil.

Com isso, evidencia-se uma proporcionalidade entre as referidas culturas, o aumento da produtividade, favorece a redução da Pegada Hídrica no Vale do Ipojuca. Portanto, os métodos de cultivo para Batata Doce podem ser aprimorados, com foco no aumento dessa produtividade e, conseqüentemente, na redução da Pegada Hídrica, auxiliando na gestão sustentável do uso da água.

CONCLUSÕES

A análise da Pegada Hídrica do cultivo de Batata Doce revelou um consumo significativo de recursos hídricos, advindos das fontes da precipitação e de irrigação, durante o ciclo de vida do cultivo. Os resultados indicaram uma Pegada Hídrica média anual de 2.327,40 m³/ton, que mostram uma ineficiência na utilização da água, em detrimento da baixa produtividade do cultivo (5,06 ton/hect), que é abaixo da média nacional.

Dessa forma, a baixa produtividade observada possivelmente está atrelada a fatores diversos, que envolvem as práticas agrícolas e potenciais desafios no manejo da irrigação. Ademais, não foi possível relacionar o regime de precipitação com a produtividade do cultivo durante o período de estudo, havendo anos que mesmo com o quantitativo de chuva abaixo da média, obtiveram rendimento de produção elevado. Portanto, a análise integrada desses fatores pode ser crucial para compreender as nuances que contribuem para a alta Pegada Hídrica no cultivo de Batata Doce, no Vale do Ipojuca.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CONDEPE/FIDEM – Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco. Bacia Hidrográfica do Rio Ipojuca. Série Bacias Hidrográficas de Pernambuco, 1, 64 p. Recife, 2005.
2. FOLEGATTI, M. V.; ROMAN, R. M. S.; COELHO, R. D.; FRIZZONE, J. A. Gestão dos recursos hídricos e agricultura irrigada no Brasil. In: BICUDO, C. E. M.; TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTUHL, M. C. B. Águas do Brasil: Análises Estratégicas. São Paulo: Instituto de Botânica, p. 15-23, 2010.
3. HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K.; ALDAYA, M. M.; MEKONNEN, M. M. *The Water Footprint Assessment Manual. Water Footprint Network*. London; Washington, DC: Earthscan, 2011, p. 216.
4. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agrícola Municipal 2010-2019. IBGE, 2023. Disponível em: <sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: dez. 2023.
5. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo 2022. IBGE, 2023. Disponível em: <<https://censo2022.ibge.gov.br/>>. Acesso em: dez. 2023.
6. INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Banco de Dados Meteorológicos. Brasília - DF, 2023. Disponível em: <<https://bdmep.inmet.gov.br/>>. Acesso em: dez. 2023.
7. KOTSUKA, L. K. Avaliação dos conceitos de água virtual e pegada hídrica na gestão de recursos hídricos: Estudo de caso da soja e óleo de soja. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba- PR, 2013.
8. MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. *Water footprint benchmarks for crop production: a first global assessment. Ecological Indicators*, p. 214-223, 2014.
9. MOURA, E. Uso dos recursos hídricos na expansão sucoenergética em áreas do bioma cerrado. 2017. Tese (Doutorado em Ambiente e Sociedade) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP, 2017.
10. MOURA, M. O. Impactos na pegada hídrica do cultivo da cana-de-açúcar em um período de seca na bacia hidrográfica do Ipojuca em Pernambuco. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2020.
11. MUSSOLINE, W. A.; BOHAC, J. R.; BOMAN, B. J.; TRUPIA, S.; WILKIE, A. C. *Agronomic productivity, bioethanol potential and postharvest storability of an industrial sweetpotato cultivar. Industrial Crops and Products*, v. 95, p. 96-103, 2017.
12. NASCIMENTO, K. O.; ROCHA, D. G. C. M.; SILVA, E. B.; BARBOSA JÚNIOR, J.L.; BARBOSA, I. M. M. J. Caracterização química e informação nutricional de fécula de batata-doce (*Ipomoea batatas* L.) orgânica e biofortificada. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 8, n. 1, p. 132 - 138, 2013.



SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO
DE ENGENHARIA SANITÁRIA
E AMBIENTAL



13. NKHATA, S. G.; CHILUNGO, S.; MEMBA, A. M.; PONELA, P. *Biofortification of maize and sweetpotatoes with provitamin A carotenoids and implication on eradicating vitamin A deficiency in developing countries. Journal of Agriculture and Food Research*, v. 2, p. 1-10, 2020.
14. SILVA, S. R. Gestão da demanda de água para uso na agricultura em região semiárida: estudo de caso bacia do rio Salitre – BA. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) – Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2011.
15. SILVA, E. S. Pegada hídrica da cultura da pimenta malagueta (*Capsicum frutescens*) na região Agreste do estado de Sergipe. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2018.