

666 - AVALIAÇÃO DA PEGADA HÍDRICA PARA O CULTIVO DE BATATA DOCE NA REGIÃO DO ALTO CAPIBARIBE, 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.

Bárbara Albuquerque Branco de Moraes⁽³⁾

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

Os estudos acerca da pegada hídrica de cultivos agrícolas são essenciais para compreensão dos gastos de água na agricultura, o que pode auxiliar na sustentabilidade e no gerenciamento dos recursos hídricos nos sistemas agrícolas, sobretudo em regiões semiáridas. Neste sentido, este estudo tem como objetivo quantificar e avaliar a pegada hídrica da produção de batata doce na região do Alto Capibaribe, com ênfase nos componentes de pegada hídrica azul e 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 inclui a água da chuva incorporada no solo a partir da precipitação e, utilizada pelas plantas no processo de desenvolvimento. Para estimar esses componentes, foram utilizados dados climáticos fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e a metodologia estabelecida pelo "The Water Footprint Assessment Manual". As Pegadas Hídricas foram calculadas para cada ano entre 2010 e 2019. Os resultados indicam que a Pegada Hídrica total variou de 1.269,14 m³/ton em 2014 a 2.152,63m³/ton em 2015, evidenciando que o cultivo de batata doce na localidade sofreu variações significativas devido a fatores hidrológicos e climáticos, que possivelmente afetaram o rendimento da produção agrícola. Dessa forma, a sustentabilidade hídrica da produção de batata-doce no Alto do Capibaribe pode ser aprimorada por meio da adoção de práticas agrícolas mais eficientes, como a utilização de sistemas de irrigação de alta eficiência adequados ao clima semiárido da região, e a implementação de técnicas de manejo integrado de nutrientes. Essas medidas têm como finalidade aumentar a produção e, conseqüentemente, melhorar o rendimento do cultivo. Portanto, compreende-se que a avaliação da pegada hídrica fornece uma ferramenta valiosa para orientar decisões agrícolas e de gestão de recursos hídricos, promovendo uma produção agrícola mais sustentável e resiliente no semiárido pernambucano.

PALAVRAS-CHAVE: Irrigação, Demanda de Água, Cultivo Agrícola.

INTRODUÇÃO

Dentre os diversos tipos de apropriação dos recursos hídricos, a agricultura visando o cultivo de espécies agrícolas, consiste no uso que mais utiliza água no mundo, sendo uma atividade econômica essencial para segurança alimentar da população. Dessa forma, a água desempenha um papel fundamental nas atividades de agricultura, sendo um recurso essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas (SOUZA, 2020). A



prática da irrigação é amplamente empregada para garantir o suprimento hídrico adequado às culturas, especialmente em regiões onde as chuvas são escassas ou irregulares (SILVA, 2011).

A eficiente gestão da água na agricultura é crucial para otimizar o rendimento das colheitas e promover a sustentabilidade ambiental. A busca por práticas agrícolas sustentáveis e a conscientização sobre a importância da preservação dos recursos hídricos são aspectos essenciais para garantir a segurança alimentar e a conservação do meio ambiente (FOLEGATTI et al. 2010).

Neste contexto, surge o conceito de Pegada Hídrica, o qual consiste em um indicador acerca do quantitativo da água de forma direta e indireta que é utilizado para alguma atividade. Portanto, pode ser compreendida como uma ferramenta valiosa para avaliar o impacto ambiental associado ao uso da água e identificar oportunidades para sua gestão sustentável (CHAPAGAIN; HOEKSTRA, 2004).

Neste sentido, a Pegada Hídrica é dividida em três subindicadores, sendo Azul, Verde e Cinza. A Pegada Hídrica Azul refere-se à quantidade de água doce superficial e subterrânea consumida diretamente em processos industriais, agrícolas ou para suprir demandas urbanas. Já a Pegada Hídrica Verde está associada à água da chuva absorvida e utilizada pelas plantas no processo de crescimento, sendo crucial na agricultura. Por sua vez, a Pegada Hídrica Cinza indica a quantidade de água necessária para diluir poluentes e resíduos, refletindo a degradação da qualidade da água (HOEKSTRA et. al., 2011).

No contexto agrícola, a Pegada Hídrica abrange a água para irrigação das culturas, além da água incorporada nos insumos agrícolas e nos processos de produção. O cultivo de determinadas culturas, como Batata Doce, Cana de Açúcar, Milho e Tomate, podem depender de práticas agrícolas que requerem grandes quantitativos de água, resultando em pegadas hídricas significativas, que influenciam a disponibilidade local de água e afetam ecossistemas aquáticos.

Assim, a gestão da água na agricultura envolve a integração de várias práticas e políticas que visam a utilização sustentável dos recursos hídricos. A monitoração contínua da disponibilidade e qualidade da água, aliada a uma gestão integrada das bacias hidrográficas, é essencial para garantir que as práticas agrícolas não comprometam os recursos hídricos a longo prazo. A participação dos agricultores, comunidades locais e outras partes interessadas na tomada de decisões é fundamental para a implementação eficaz dessas práticas de gestão (VIEIRA; SOUSA JUNIOR, 2018).

Deste modo, a análise da pegada hídrica de cultivos específicos, como a batata doce, pode oferecer informações valiosas sobre como diferentes práticas agrícolas e variabilidades climáticas afetam o uso da água e a produtividade. A aplicação de estudos acerca da demanda e uso da água para cultivos agrícolas, também podem informar políticas públicas que incentivem a adoção de tecnologias eficientes e práticas sustentáveis, promovendo uma agricultura mais resiliente e sustentável. O fortalecimento de programas de extensão rural e a capacitação dos agricultores em técnicas de manejo eficiente da água são passos importantes para a implementação bem-sucedida dessas políticas.

Diante do exposto, o objetivo deste estudo consiste em estimar a Pegada Hídrica referente ao cultivo de Batata Doce na região do Alto Capibaribe, em Pernambuco, durante o período de 2010 a 2019, de modo a constatar o quantitativo de água requerida para o desenvolvimento do referido cultivo.

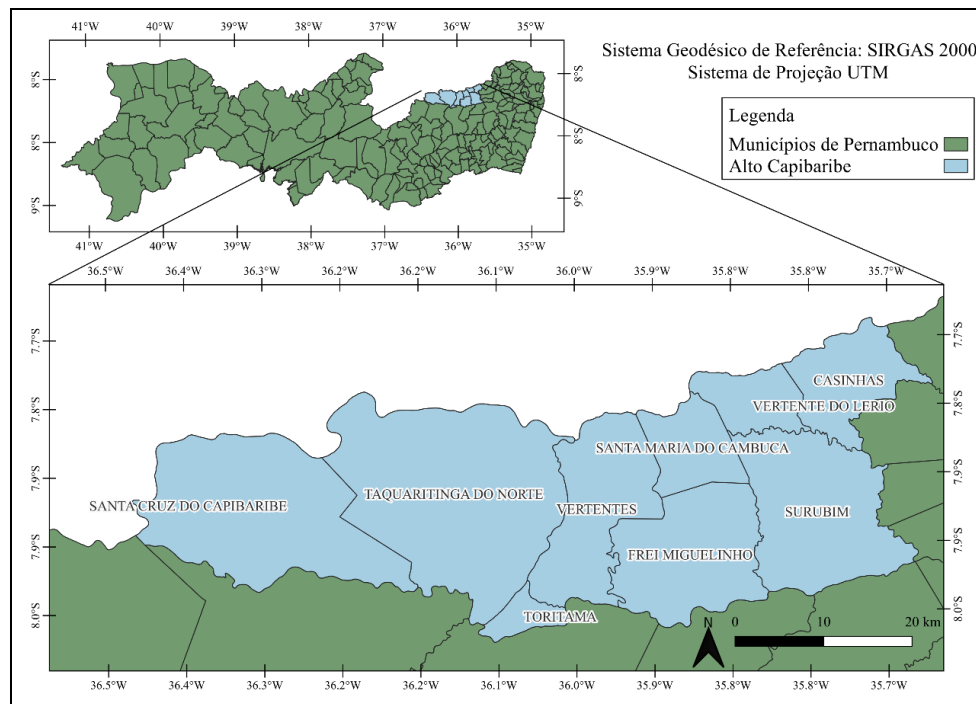
MATERIAIS E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo (Figura 1) corresponde a microrregião do Alto Capibaribe, no estado de Pernambuco, cuja área abrange 9 municípios, que em conjunto compreendem 319.304 habitantes e uma área de 1.780 km² (IBGE, 2022). A área está inserida no Agreste de Pernambuco, especificamente no Planalto da Borborema (CONDEPE/FIDEM, 2006).

A região do Alto Capibaribe, em Pernambuco, é uma área de grande importância econômica e social, com desafios significativos relacionados à gestão dos recursos hídricos e à sustentabilidade das atividades agrícolas. A adoção de práticas de manejo eficiente da água, aliada ao desenvolvimento de políticas públicas

robustas e ao fortalecimento das capacidades locais, é essencial para promover o desenvolvimento sustentável da região.



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) durante o período de crescimento completo, a partir da precipitação, 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:

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

ET_{verde} = Evapotranspiração verde.



A Pegada Hídrica Azul (m^3/ton) se refere ao quantitativo de água azul, advinda da água superficial ou e subterrânea, consumida durante o processo de produção agrícola (HOEKSTRA et al., 2011), conforme mostra a Equação 3. O consumo de água azul (DHCazul) é obtido a partir do somatório da evapotranspiração diária referente a água proveniente da irrigação superficial ou subterrânea (escoamento), conforme mostra a Equação 4.

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

Onde:

PH_{proc,azul} = Pegada Hídrica Azul (m^3/ton)

Cazul = Consumo (demanda) de água azul pela cultura (m^3/ha);

Prtv = produtividade da cultura (ton/ha).

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

Onde:

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

ET = Evapotranspiração azul.

No que se refere ao cálculo da ETverde e da ETazul, as equações 5 e 6 revelam como foram estimados destes parâmetros. A ETverde tem relação com a água precipitada que é utilizada pela planta, enquanto a ETazul tem relação com a água provenientes das fontes de escoamento superficial ou subterrâneo que, geralmente, consiste na irrigação do cultivo agrícola.

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

Onde:

ETverde = Evapotranspiração verde (mm);

ET_c = Evapotranspiração da cultura (mm);

P_{eft} = Precipitação efetiva (mm).

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

Onde:

ETverde = Evapotranspiração azul (mm);

ET_c = Evapotranspiração da cultura (mm);

P_{eft} = Precipitação efetiva (mm).

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

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados para o período de estudo, que compreende 2010-2019, mostram que a produtividade de Batata Doce (2010-2019), oscilou ao longo do tempo. Nestes 10 anos, houve uma média de produtividade de 7,32 ton/hect, tendo o ano de 2014 como o de maior produtividade (8,75 ton/hect) o ano de 2015 como o de menor produtividade (5,33 ton/hect). A Figura 2 mostra essa variação anual, relevando que os anos de 2010, 2015, 2018 e 2019, são anos com produtividade abaixo da média.

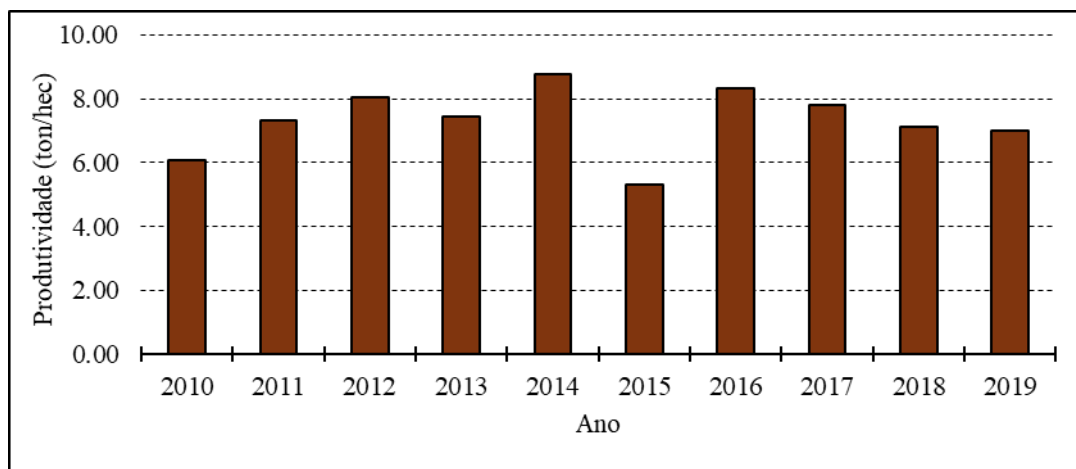


Figura 2: Produtividade da Batata Doce no Alto Capibaribe.

Além da produtividade, os fatores climatológicos que influenciam no quantitativo de evapotranspiração e escoamento superficial, como a precipitação anual, entre 2010 e 2019, são expostos na Figura 3. 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 ressaltar que dentre estes anos de baixos índices pluviométricos, há o ano de 2015, como o de menor produtividade. Entretanto, anos como 2010 e 2018, que mesmo com produtividade abaixo da média, tiveram precipitações acima do valor médio. Assim, pode-se indicar que a baixa produtividade em alguns períodos não tem relação com a quantidade de chuva recebida na área.

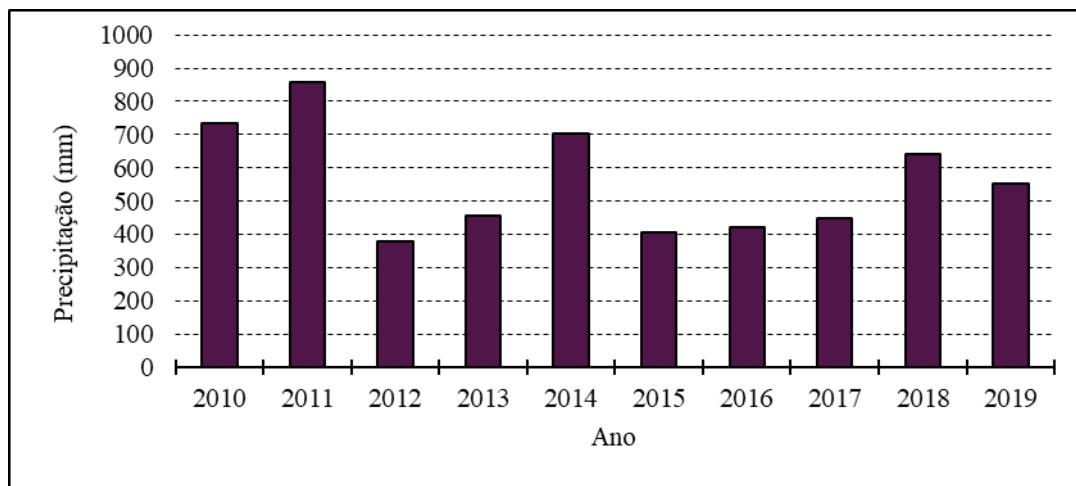


Figura 3: Precipitação anual no Alto Capibaribe.

Diante destes fatores, a estimativa da Pegada Hídrica entre 2010 e 2019 (Figura 4), releva que houve variações entre a Pegada Hídrica Verde e Azul. O ano de 2011, foi o único ano em que a Pegada Hídrica Verde (940 m³/ton), foi maior do que a Pegada Hídrica Azul (563 m³/ton), este fato já era esperado, em razão da alta precipitação ocorrida (859,4 mm). Portanto, em 2011 não houve demasiada necessidade de fontes superficial de água (irrigação), em comparação com os outros anos.

Ademais, a Pegada Hídrica Total média durante os anos de 2010 e 2019, foi de 1.575,26 m³/ton, evidenciando um alto valor para o cultivo de Batata Doce. Possivelmente, este alto valor está relacionado com a Produtividade local, que mesmo Pernambuco sendo um dos dez maiores estados produtores de Batata Doce, a produtividade média para o Alto Capibaribe (7,32 ton/hec), está bem abaixo da média nacional que consiste



em 14,5 ton/hect (IBGE, 2023). Este fato mostra que as áreas de cultivo no Alto Capibaribe, produzem quantidades de Batata Doce quase 50% inferior ao que é produzido no restante do país. Assim, é evidente que há uma grande utilização de água para uma produção com rendimento possivelmente baixo, o que eleva bastante a Pegada Hídrica total.

Ademais, os valores também indicam que a pegada hídrica da batata-doce na região do Alto Capibaribe variou significativamente entre 2010 e 2019, refletindo a influência de fatores climáticos e de manejo agrícola. A variação entre 1.269,14 m³/ton (2014) e 2.152,63 m³/ton (2015), destaca a importância de práticas de gestão hídrica eficientes para reduzir a dependência de água de irrigação e promover a sustentabilidade do cultivo de batata-doce. A adoção de tecnologias de irrigação avançadas e práticas de conservação do solo são estratégias fundamentais para alcançar uma produção agrícola mais sustentável e resiliente no semiárido pernambucano.

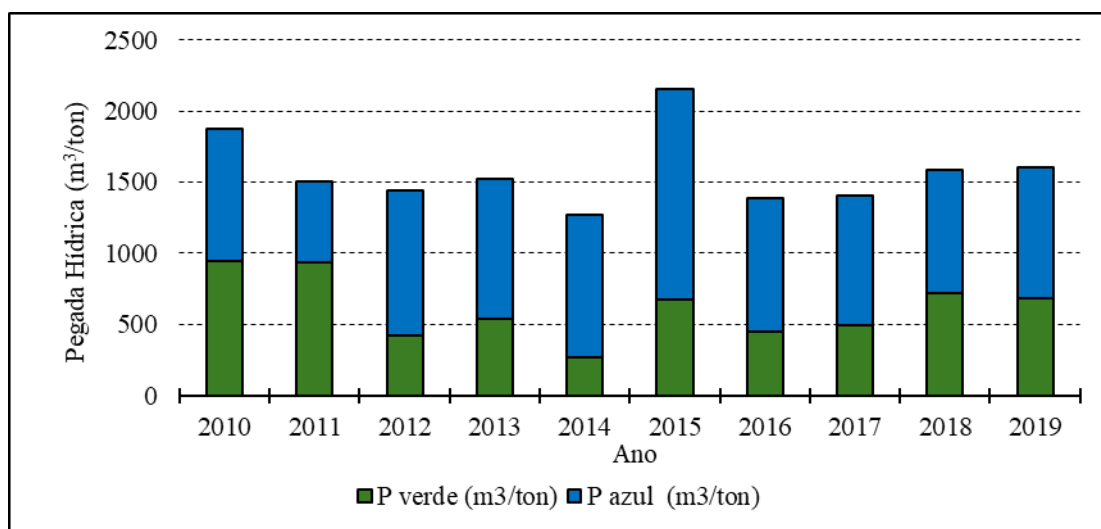


Figura 4: Pegada Hídrica do Cultivo de Batata Doce no Alto Capibaribe.

Nesta perspectiva, a variação da pegada hídrica observada sugere a necessidade de uma abordagem integrada e sustentável para a gestão dos recursos hídricos na região do Alto Capibaribe. A implementação de tecnologias de irrigação mais eficientes, aliada a práticas agrícolas que conservem a umidade do solo, pode contribuir para uma redução significativa na pegada hídrica. Além disso, políticas públicas que incentivem a adoção dessas práticas são essenciais para promover a sustentabilidade da produção agrícola na região.

As condições climáticas da região do Alto Capibaribe, caracterizadas por um clima semiárido com períodos de seca prolongada, desempenham um papel crucial na determinação da pegada hídrica. Anos com precipitação insuficiente provavelmente exigiram maior dependência de fontes de água para irrigação, aumentando a pegada hídrica azul. Por outro lado, em anos com chuvas mais favoráveis, a pegada hídrica verde pode ter sido mais predominante, resultando em um menor uso de água de irrigação e, conseqüentemente, uma pegada hídrica total reduzida.

A eficiência das práticas agrícolas também contribui significativamente para a variação observada. A adoção de técnicas de manejo eficiente da água, como irrigação por gotejamento e conservação do solo, pode reduzir consideravelmente a pegada hídrica. Nos anos em que essas práticas foram implementadas de forma eficaz, é provável que a pegada hídrica tenha sido menor. Alternativamente, anos com menos eficiência nas práticas agrícolas podem ter contribuído para um aumento na pegada hídrica.

A ocorrência de veranicos, que consiste em períodos de estiagem, acompanhados por calor intenso, forte insolação e baixa umidade relativa em plena estação chuvosa ou em pleno inverno durante o ciclo das culturas, pode influenciar na perda de produtividade para agricultores que não possuem sistemas de irrigação adequado que substitua a demanda de água verde (CARVALHO et al., 2000). Nesse contexto, é fundamental estabelecer épocas adequadas para o plantio, em razão das necessidades da planta, fornecendo fontes alternativas de água, de modo a otimizar o uso de água das chuvas. Para assegurar que a cultura cresça e se desenvolva



adequadamente é essencial a aplicação de água via irrigação nos meses que apresentem déficit pluviométrico, pois é por meio da agricultura irrigada que se torna possível a produção agrícola (ROCHA et al., 2021).

De acordo com Matos (2015), a Pegada Hídrica total para Batata Doce, no município de Itabaiana, em Sergipe, localizada também em região de agreste, foi de aproximadamente 982 m³/ton, valor médio anual obtido entre 2010 e 2012, com uma produtividade média anual de 17 ton/hect. Dessa forma, torna-se nítido que a produtividade no Alto Capibaribe, sendo abaixo da média nacional, influencia demasiadamente no alto valor da Pegada Hídrica para o cultivo de Batata Doce.

Ademais, a gestão integrada dos recursos hídricos é essencial para enfrentar os desafios impostos pela variabilidade climática e a escassez de água na região do Alto Capibaribe. A implementação de práticas de manejo que otimizem o uso da água da chuva e reduzam a dependência de fontes de água subterrânea e superficial é crucial. Portanto, a promoção de técnicas de manejo integrado de nutrientes pode contribuir para a redução da pegada hídrica, minimizando o impacto ambiental da produção agrícola.

CONCLUSÕES

A análise da Pegada Hídrica referente ao cultivo de Batata Doce na região do Alto Capibaribe, mostrou um elevado consumo de água durante o ciclo de vida da cultura, ocasionando uma grande pressão sobre as fontes de irrigação. O valor médio da Pegada Hídrica de 1.575,26 m³/ton para o período de estudo, juntamente a produtividade de 7,32 ton/hect, aponta uma possível ineficiência na utilização da água. Ademais, o quantitativo de precipitação anual, durante o período de estudo, não apontou relação direta com os resultados de produtividade do cultivo, havendo anos que mesmo com baixa precipitação, se teve elevado rendimento na produção.

Frente a esse cenário, torna-se indicar a implementação de estratégias de gestão sustentável dos recursos hídricos para irrigação na área, visando otimizar a eficiência no uso da água e promover práticas agrícolas mais sustentáveis. Assim, intervenções direcionadas à melhoria da produtividade, como o desenvolvimento de cultivares mais resistentes e aprimoramento das técnicas de manejo, são essenciais para mitigar os impactos negativos associados à elevada Pegada Hídrica obtida para a região do Alto Capibaribe.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARVALHO, D. F.; FARIA, R. A.; SOUSA, S. A. V.; BORGES, H. Q. Espacialização do período de veranico para diferentes níveis de perda de produção na cultura do milho, na bacia do Rio Verde Grande, MG. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 4, n. 2, p.172-176, 2000.
- CONDEPE/FIDEM – Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco. *Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe. Série Bacias Hidrográficas de Pernambuco*, 1, 64 p. Recife, 2005.
- CHAPAGAIN, A. K.; HOEKSTRA, A. Y. Water footprint of nations. Volume 1: Main report. *Value of Water Research Report Series*, v. 1, n. 16, p. 1–80, 2004.
- FOLEGATTI, M. V.; ROMAN, R. M. S.; COELHO, R. D.; FRIZZONE, J. A. Gestão dos recursos hídricos e agricultura irrigada no Brasil. In: Carlos E. de M. Bicudo; José Galizia Tundisi, Marcos C. Barnsley Scheuenstuhl. (Org.). *Águas do Brasil: Análises Estratégicas*. São Paulo: Instituto de Botânica, p. 15-23, 2010.
- HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K.; ALDAYA, M. M.; MEKONNEN, M. M. *The Water Footprint Assessment Manual*. Water Footprint Network, p. 216. London; Washington, DC: Earthscan, 2011.
- 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.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo 2022*. IBGE, 2023. Disponível em: <<https://censo2022.ibge.gov.br/>>. Acesso em: dez. 2023.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. *Banco de Dados Meteorológicos*. Brasília - DF, 2023. Disponível em: <<https://bdmep.inmet.gov.br/>>. Acesso em: dez. 2023.
- MATOS, R. R. A. Estimativa dos componentes azul e verde da pegada hídrica da batata-doce no agreste sergipano. *Dissertação (mestrado em Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2015.*



SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO
DE ENGENHARIA SANITÁRIA
E AMBIENTAL



10. ROCHA, T. B. C.; VASCONCELOS FÚNIOR, F.C. Indicadores de veranicos e de distribuição de chuva no Ceará e os impactos na agricultura de sequeiro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 36, n. 3, p. 579-589, 2021.
11. 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.
12. SOUZA, M. H. C. Estratégias de alocação de água para irrigação no perímetro irrigado Pontal Sul. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2020.
13. VIEIRA, B.; SOUSA JUNIOR, W. Contribuições para Abordagem Municipal da Pegada Hídrica: Estudo de Caso no Litoral de São Paulo. *Revista Ambiente & Sociedade* n São Paulo v. XVIII, n. 3 n p. 231-252, 2015.