



Pegada hídrica da cana-de-açúcar e etanol produzidos no estado de Alagoas, Brasil

Antonio Dias Santiago^{1(*)}, Daniel Chico², Aderson Soares de Andrade Junior³, Alberto Garrido² e Pedro J. P. Carnaúba⁴

¹Embrapa Tabuleiros Costeiros, Maceió, AL, antonio.santiago@embrapa.br

²CEIGRAM – Centro de Estudios e Investigación para la Gestión de Riesgos Agrarios y Medioambientales, Universidade Politécnica de Madri, Espanha, dani.chico@gmail.es, alberto.garrido@upm.es

³Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI, aderson.andrade@embrapa.br

⁴Usina Coruripe, Coruripe, AL, pedro.carnauba@usinacoruripe.com.br

(*)Autor para correspondência

INFORMAÇÕES

História do artigo:

Recebido em 16 de Junho de 2017

Aceito em 10 de agosto de 2017

Termos para indexação:

Saccharum officinarum

quantificação e eficiência de água

RESUMO

O objetivo do presente estudo foi quantificar os volumes de água consumidos (pegada hídrica) na produção de colmos e etanol de cana-de-açúcar, em dois sistemas de cultivos (com e sem irrigação) utilizados na Usina Coruripe, localizada no município de Coruripe, Estado de Alagoas, Brasil. No cultivo sob irrigação, avaliou-se os sistemas pivô central, aspersão convencional e gotejamento subsuperficial. O sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial apresenta as menores pegadas hídricas para a produção de colmos (127,48 L kg⁻¹) e de etanol (1.410,07 L L⁻¹). No sistema de cultivo que não recebeu suplementação hídrica, obtiveram-se os menores valores de pegada hídrica para as variáveis analisadas; entretanto, com a menor produtividade de colmos (61,70 Mg ha⁻¹).

© 2017 SBAgro. Todos os direitos reservados.

Introdução

No Brasil verificou-se, nas últimas décadas, expressivo aumento da área colhida com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), passando de 5.206 mil ha de área plantada em 2002 para mais de 10.000 mil ha na safra 2015/2016 (BRASIL, 2015), CONAB (2016). O cultivo nessas novas áreas requer suplementação hídrica.

Os principais estados produtores da região Nordeste são Alagoas e Pernambuco, que em virtude da falta de área para expansão optaram por elevarem suas produções por meio da adoção de tecnologias. Dentre essas é o uso de irrigação.

Os crescentes aumentos do uso de água e da demanda

por alimentos têm exigido o aprimoramento de técnicas utilizadas nos sistemas de produção, permitindo melhorar a segurança na produção e reduzir o volume de água aplicado (SILVA et al., 2012).

Segundo Hoekstra et al. (2012), nas últimas duas décadas, foram desenvolvidos métodos para caracterizar, mapear e acompanhar a geografia da escassez de água no mundo, o que têm ajudado a registrar o descompasso entre a disponibilidade e a demanda de água. Dentre esses métodos destaca-se a ferramenta denominada de “Pegada Hídrica” (PH), que trata do consumo de água.

A pegada hídrica água permite monitorar os efeitos da escassez de água em uma determinada região geográfica, possibilitando seu uso como ferramenta de avaliação



Figura 1. Mapa do Nordeste brasileiro, destacando-se o Estado de Alagoas e a localização do município de Coruripe.

na gestão dos recursos hídricos. (GIACOMIN e OHNUMA, 2012). Sendo considerada como um indicador compreensivo da apropriação do recurso de água doce em contraste com a tradicional e restrita mensuração de retirada de água. Esse conceito tem sido usado com o objetivo de demonstrar a importância da gestão da água (SILVA et al., 2013).

A maioria dos estudos sobre a PH da cana-de-açúcar é baseada em dados estatísticos da FAO e apresenta resultados com elevada amplitude em termos de valores (SCHOLTEN, 2009; MEKONNEN & HOEKSTRA, 2010, RESENDE, 2011; GERBENS-LEENES & HOEKSTRA, 2012), devido, às diferenças nos tipos de solos, cultivares, manejo de plantas, dentre outros fatores.

O objetivo do presente estudo foi quantificar, utilizando a ferramenta pegada hídrica, os volumes de água consumidos na produção da cana-de-açúcar, cultivada com e sem irrigação, nas condições do município de Coruripe, Estado de Alagoas, Brasil.

Material e métodos

Os dados para execução do estudo foram coletados na Fazenda Progresso, pertencente à Usina Coruripe (10°03'08" S e 36°09'56" W e a 70,6 m de altitude), situada no município de Coruripe, Estado de Alagoas (Figura 1). A referida área possui talhões com dimensões variando de 146 hectares a 4.635 hectares, dependendo do método ou sistema de irrigação adotado, e com diferentes idades de produção com predomínio para quatro cortes (Tabela 1). A variedade utilizada foi a RB 92579 que é o genótipo mais cultivado em Alagoas. O clima da região, segundo Köppen,

é classificado como tropical chuvoso, média de 1.400 mm, com verão seco. O solo predominante é classificado como Podzólico Amarelo Distrófico Abrupto com fragipã A moderado textura areno/argilosa (Usina Coruripe, 1997).

Foram utilizados dados de três safras de produção: 2008-2009, 2009-2010 e 2010-2011. O manejo do solo, com exceção do gotejamento, seguiu o padrão utilizado pela Usina: correção da acidez do solo, aração, subsolagem, sulcamento e adubação. Nas áreas de sequeiro, implantação e pós cortes, foram aplicados 600 kg ha⁻¹ da fórmula 05-20-06. Nas áreas com pivô central e aspersão convencional foi utilizada a formulação 10-06-24, respectivamente nas dosagens 700 e 600 kg ha⁻¹. Nas áreas com gotejamento aplicou-se 1000 kg ha⁻¹ da formula 05-20-06 na implantação e 450 kg ha⁻¹ de 20-12-00 nas socarias acrescidos de 60 m³ de vinhaça aplicados em superfície por aspersão.

Os talhões foram mantidos livres de ervas daninhas através de controle químico e ataque de pragas (controle biológico). As áreas foram colhidas quando as plantas estavam com 12 meses de desenvolvimento vegetativo, sendo a mesma realizada manualmente com despalha ao fogo. A área total da Fazenda Progresso está dividida, em termos de fornecimento de água para as plantas, em quatro grandes talhões equivalentes aos sistemas de cultivo: sistema em regime de sequeiro (plantas cultivadas somente com a água das chuvas) e sistemas irrigados por aspersão convencional, por pivô central e por gotejamento subsuperficial (plantas cultivadas com suplementação hídrica).

No sistema irrigado por aspersão convencional, também conhecido como "irrigação de salvamento" ou "irrigação suplementar", os volumes de água foram aplicados em duas épocas distintas: logo após o plantio ou corte (colheita) e, a segunda, 30 dias após essa aplicação.

Tabela 1. Dimensões de áreas e produtividades de colmos (Prod) obtidas nos sistemas de cultivos avaliados.

Safras	2008-2009		2009-2010		2010-2011	
Sistema de Irrigação	Área (ha)	Prod* (Mg ha ⁻¹)	Área (ha)	Prod* (Mg ha ⁻¹)	Área (ha)	Prod* (Mg ha ⁻¹)
Sequeiro	662,0	78,85	775,0	70,47	750,0	69,25
Aspersão	4.635,0	75,00	3.293,0	70,80	3.813,0	88,15
Pivô	267,0	101,30	209,0	77,39	298,0	87,15
Gotejamento	146,0	95,30	272,0	133,00	303,0	131,00

As lâminas de água, no sistema irrigado por pivô central, variaram em função da precipitação ocorrida em cada ano do estudo, e as quantidades de água aplicadas foram fracionadas em duas ou três aplicações.

Por sua vez, no sistema irrigado por gotejamento sub-superficial (gotejamento enterrado), a aplicação de água foi efetuada na modalidade de irrigação plena, com fornecimento de água em pequenas quantidades, praticamente durante todo o desenvolvimento da cultura.

A metodologia utilizada para determinar a quantidade de água necessária para produção de colmos da cana-de-açúcar e etanol, em cada um dos sistemas de irrigação, foi a do Water FootPrint Network (WFN) desenvolvida por Hoekstra et al. (2011). Seu manual deixa claro que essa ferramenta é um indicador do uso da água que considera não apenas o seu uso direto por um consumidor ou produtor, mas, também, seu uso indireto. A pegada hídrica pode ser considerada como um indicador abrangente da apropriação de recursos hídricos, vis a vis ao conceito tradicional e restrito de captação de água. A pegada hídrica de um produto é o volume de água utilizado para produzi-lo, medida ao longo de toda cadeia produtiva. É um indicador multi-dimensional, que mostra os volumes de consumo de água por fonte e os volumes de poluição por tipo.

A pegada hídrica total é composta por três pegadas: verde, azul e cinza. As definições apresentadas abaixo são constantes no manual de avaliação de pegada hídrica elaborado por HOEKSTRA, et al. 2011.

A pegada hídrica verde é um indicador do uso da água verde por parte do homem. A água verde refere-se à precipitação no continente que não escoou ou não repõe a água subterrânea, mas é armazenada no solo ou permanece temporariamente na superfície do solo ou na vegetação. Eventualmente, essa parte da precipitação evapora ou é transpirada pelas plantas. É considerada como o volume de água da chuva que é consumido durante o processo de produção.

A fórmula para calcular a pegada hídrica verde em uma etapa do processo é a seguinte:

$$PH_{proc, verde} = \text{Evaporação de água verde} + \text{Incorporação de água verde} [\text{volume/tempo}]$$

O consumo de água de acordo com Hoekstra et al. (2011), deve ser entendido, como a perda de água disponível, superficial ou subterrânea, podendo ocorrer pela incorporação a um produto, por evaporação, ou transferida para outra bacia ou mar.

A água azul é entendida como o volume de água que também é incorporada ou aproveitada pela planta, porém, oriunda de represas, lagos ou subterrâneas, ou seja, a água utilizada pela cultura via irrigação.

É calculada pela fórmula:

$$PH_{proc, azul} = \text{Evaporação da água azul} + \text{Incorporação da água azul} + \text{Vazão de retorno perdida} [\text{volume/tempo}]$$

A pegada hídrica cinza de uma etapa do processo é um indicador do grau de poluição da água que pode estar associado à etapa do processo. É definida como o volume de água necessário para assimilar a carga de poluentes baseada nas concentrações em condições naturais e nos padrões ambientais existentes. O conceito de pegada hídrica cinza surgiu do reconhecimento de que o tamanho da poluição hídrica pode ser expresso em termos de volume de água necessário para diluir os poluentes de forma que eles se tornem inócuos. É calculada pela divisão da carga poluente (L , em massa/tempo) 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). Ou seja: $PH_{proc, cinza} = L / (c_{max} - c_{nat})$ [volume/tempo]

O uso de água nas Unidades industriais de processamento de cana-de-açúcar era elevado, entre 15 a 20 m³/t cana, mas, nos últimos anos, verificou-se acentuada redução. Essa situação é o reflexo da racionalização do uso da água através da reutilização e fechamento de circuitos. Na década de noventa os levantamentos apontavam um consumo de 5,6 m³/t de cana processada. Atualmente a retirada média de água na região Centro Sul está entre 1 e 2 m³/t. (ELIAS NETO et. al., 2009).

Em Alagoas Buarque, citado por Almeida, 2009, ao estudar o consumo de água na produção de açúcar em 08 usinas de açúcar verificou que os quantitativos variarão de

Tabela 2. Lâminas de irrigação aplicadas nos diferentes sistemas de irrigação e precipitações ocorridas nas safras 2008-2009; 2009-2010 e 2010-2011.

Safras	2008-2009		2009-2010		2010-2011	
	L* (mm)	Precipitação (mm)	L* (mm)	Precipitação (mm)	L* (mm)	Precipitação (mm)
Sequeiro	-		-		-	
Aspersão	91,0		91,0	1963,3	91,0	1.668,8
Pivô	66,0		58,0		58,0	
Gotejamento	618,5		745,30		745,30	

* L - Lâmina média aplicada por método de irrigação

0,70 a 11,60 m³/t de cana processada e média de 5,97 m³/t de cana processada. Esse valor é semelhante às estimativas dos técnicos da indústria de etanol da Usina onde os dados foram levantados que foram de 5,6 m³ t⁻¹ de cana. Esse valor servirá de base para os cálculos de consumo na indústria no presente estudo. Sendo considerado assim, a captação e o reuso da água, tanto industrial como no setor agrícola, pois, a maior porcentagem da água de lavagem vai para o campo através da irrigação.

A contabilidade dos quantitativos de águas verde e azul dos diferentes sistemas de irrigação foi realizada por meio do programa Cropwat 8.0 (FAO, 2009), que possibilita os cálculos dos requerimentos de água. Os dados pluviométricos do período analisado, bem como as lâminas de irrigação médias aplicadas por cada sistema de irrigação, foram disponibilizados pelos técnicos da Usina Coruripe.

No tocante a água cinza, somente foi considerada a lixiviação do nitrogênio, devido à falta de informações precisas e seguras sobre a lixiviação de outros possíveis agentes poluidores, a exemplo dos herbicidas e agrotóxicos. Para seu cálculo, segundo Hoekstra & Chapagain, 2008, citados por Scholten (2009), devem ser levados em consideração: quantidade dos poluentes emitidos, corpo de água de escoamento e o padrão aceitável. No caso específico do nitrogênio, o padrão aceitável para água potável foi estabelecido, neste estudo, em 10 mg L⁻¹ para nitrogênio-nitrato (CETESB, 2007) e a taxa de lixiviação, em 10%.

No sistema de cultivo de sequeiro, estabeleceu-se que a prática de adubação adotada na Usina não apresenta possíveis prejuízos ao meio ambiente em termos de lixiviação de adubos nitrogenados, razão pela qual foi estabelecido o valor zero no que se refere à água cinza para esse sistema, conforme recomendado por Smeets et al. (2008). Esses autores, ao avaliarem a sustentabilidade da produção do etanol nas condições de São Paulo, não identificaram poluição de águas no cultivo de cana-de-açúcar sob condição de sequeiro.

Resultados e discussão

Na Tabela 2 são apresentados as lâminas de irrigação aplicadas e o total de chuvas ocorridas no período de cada safra estudada.

No tocante à produtividade de colmos por hectare, Figura 2, observa-se que, quando as plantas foram cultivadas no sistema de cultivo por gotejamento, a produtividade média foi de 119,90 Mg ha⁻¹, seguida dos sistemas por pivô central com 88,61 Mg ha⁻¹, por aspersão com 77,60 Mg ha⁻¹ e, por último, de sequeiro com 61,70 Mg ha⁻¹. Inúmeros autores relatam os ganhos em produtividade de colmos, açúcar e álcool com a adoção do sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial em cana-de-açúcar, a exemplo de Andrade Junior et al. (2012 a) e Dalri et al. (2008).

A produtividade alcançada nos talões que somente receberam água verde, sequeiro, foi superior em 2,23 Mg ha⁻¹ à média do Estado no período do estudo. Por outro lado, quando receberam suplementação hídrica apresentaram produtividade no mínimo 18,13 Mg ha⁻¹ (CONAB, 2009 e CONAB 2011).

Os volumes de água necessários para a produção de colmos (L kg⁻¹) e de etanol (L L⁻¹), no período estudado, em função dos quatro sistemas de cultivo avaliados são apresentados nas Figuras 2 e 3, respectivamente.

A menor pegada hídrica, em termos de produção de colmos, ocorreu no cultivo de sequeiro 115,72 L kg⁻¹. Dentre os sistemas que receberam suplementação hídrica, o menor volume foi observado no gotejamento subsuperficial, com uma estimativa de consumo de 127,48 L kg⁻¹ de cana. Os maiores consumos foram verificados nas áreas onde a cultura recebeu as suplementações hídricas por meio dos sistemas de irrigação por pivô central (169,59 L kg⁻¹) e aspersão convencional (181,49 L kg⁻¹). A diferença entre o gotejamento subsuperficial e a aspersão convencional, em termos de quantidade de água consumida, foi de 54,01 L kg⁻¹ de cana, uma vez que o gotejamento, por sua própria

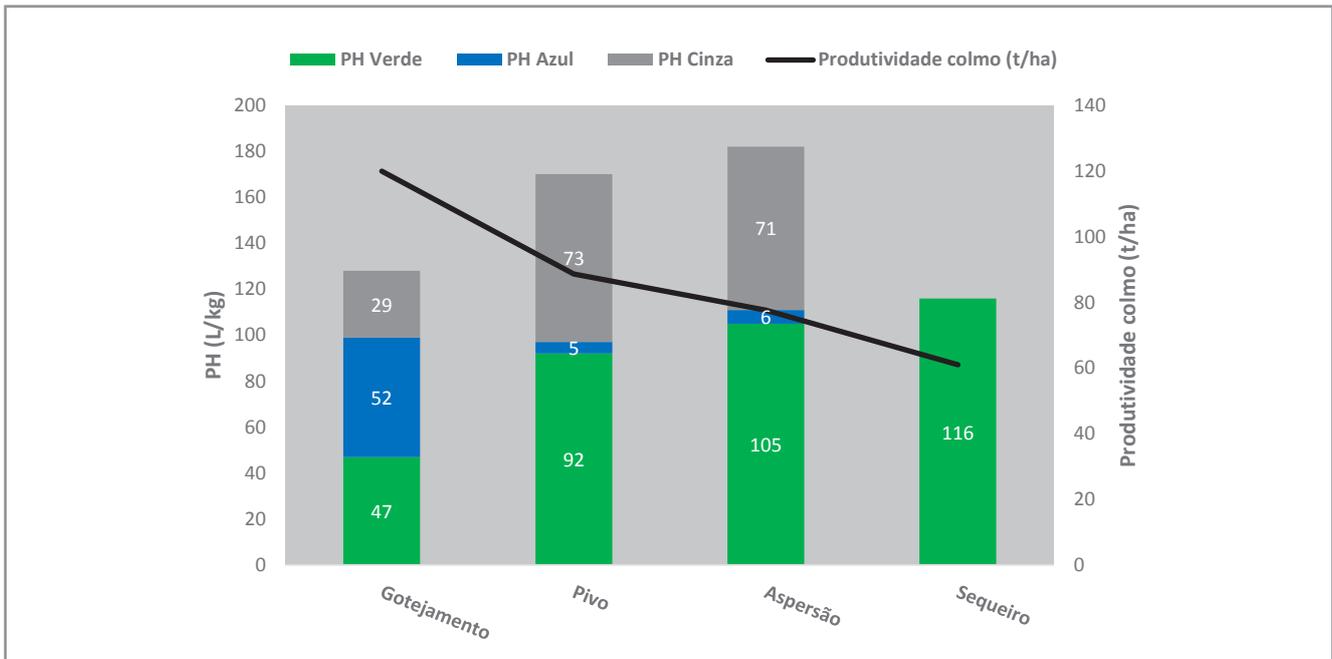


Figura 2. Produtividade e pegada hídrica de colmos de cana-de-açúcar submetidas a diferentes sistemas de cultivo nas condições da Usina Coruripe, Alagoas, Brasil.

característica, apresenta maior eficiência de aplicação de água (Figura 2). Em termos de água verde, verificou-se que o maior valor foi obtido no sistema que recebeu somente água das chuvas (sequeiro), durante o crescimento e desenvolvimento das plantas, com média de consumo de 115,72 L kg⁻¹ de cana, enquanto o menor consumo de água foi verificado no sistema por gotejamento subsuperficial, com 47,15 L kg⁻¹. Por outro lado, a produtividade de colmos sob o sistema de irrigação por gotejamento é bastante elevada em relação ao cultivo de sequeiro, fazendo com que, ao final, tenha-se uma pegada hídrica mais favorável com o uso desse sistema de irrigação (Figura 2).

Com relação ao componente água azul, o maior volume foi verificado no sistema irrigado por gotejamento, atingindo a média de 51,74 L kg⁻¹ de cana, já que nesse sistema ocorre aplicação plena de água para a cultura, notadamente durante o período de maior deficiência hídrica, quando a exigência em água é maior pela cultura. Nos demais sistemas de cultivos irrigados, as quantidades foram de 4,80 e 5,74 L kg⁻¹ de colmos, respectivamente para pivô central e aspersão convencional. (Figura 2).

Os maiores volumes de água cinza (Figura 2) foram observados para os sistemas pivô central e aspersão convencional, respectivamente, com 72,88 m³ e 71,15 m³ de água t⁻¹ de colmos, já que nesses sistemas são aplicadas elevadas doses de fertilizantes. A fração de adubo que se lixivia foi considerada constante para todos os sistemas de irrigação (10%).

De um modo geral, as pegadas hídricas de culturas irrigadas são maiores que as cultivadas sem suplementação hídrica; contudo, existem cultivos onde isso não ocorre. No

trabalho de Mekonnen & Hoekstra (2011), foi verificado que as pegadas do milho, algodão, arroz e café sem irrigação foram superiores aos cultivos de sequeiro. São exceções, mas, não se pode generalizar que todos os cultivos quando irrigados apresentam pegadas hídricas superiores aos cultivos sem suplementação hídrica. Esses comportamentos justificam a comparação entre sistemas irrigados e de sequeiro.

Mekonnen & Hoekstra (2011) calcularam as pegadas hídricas globais no período de 1996 a 2005 de 126 produtos agrícolas, tendo como fonte de consulta principalmente os bancos de dados da FAO e USDA. Dentre as culturas selecionadas para os estudos está a cana-de-açúcar, que alcançaram os seguintes valores de pegadas hídricas: 139,00 L kg⁻¹ (verde), 57,00 L kg⁻¹ (azul) e 13,00 L kg⁻¹ (cinza), totalizando 209,00 L kg⁻¹. Comparando esses resultados com os obtidos no presente estudo, verifica-se que, na Fazenda Progresso, o consumo médio de água foi de 159,52 L kg⁻¹ de colmos. Desse total, 57,54 L kg⁻¹ foi de água cinza, superior a média mundial. Tal fato deve estar relacionado com as elevadas adubações nitrogenadas associadas à baixa eficiência de aplicação de água dos sistemas de irrigação por aspersão convencional e por pivô central.

Nos sistemas de irrigação avaliados, em razão das diferentes quantidades de água aplicadas e das respectivas produtividades de colmos obtidas, foram encontrados valores que variaram de 127,48 a 181,49 L de água por kg de colmo. Esses valores são inferiores aos encontrados por Scholten (2009), que, em termos médios, quantificou acima de 200 L kg⁻¹, nas condições do Brasil. Entretanto, Gerbens-Leenes & Hoekstra (2012) apresentam os valores de 209 e 130 L kg⁻¹,

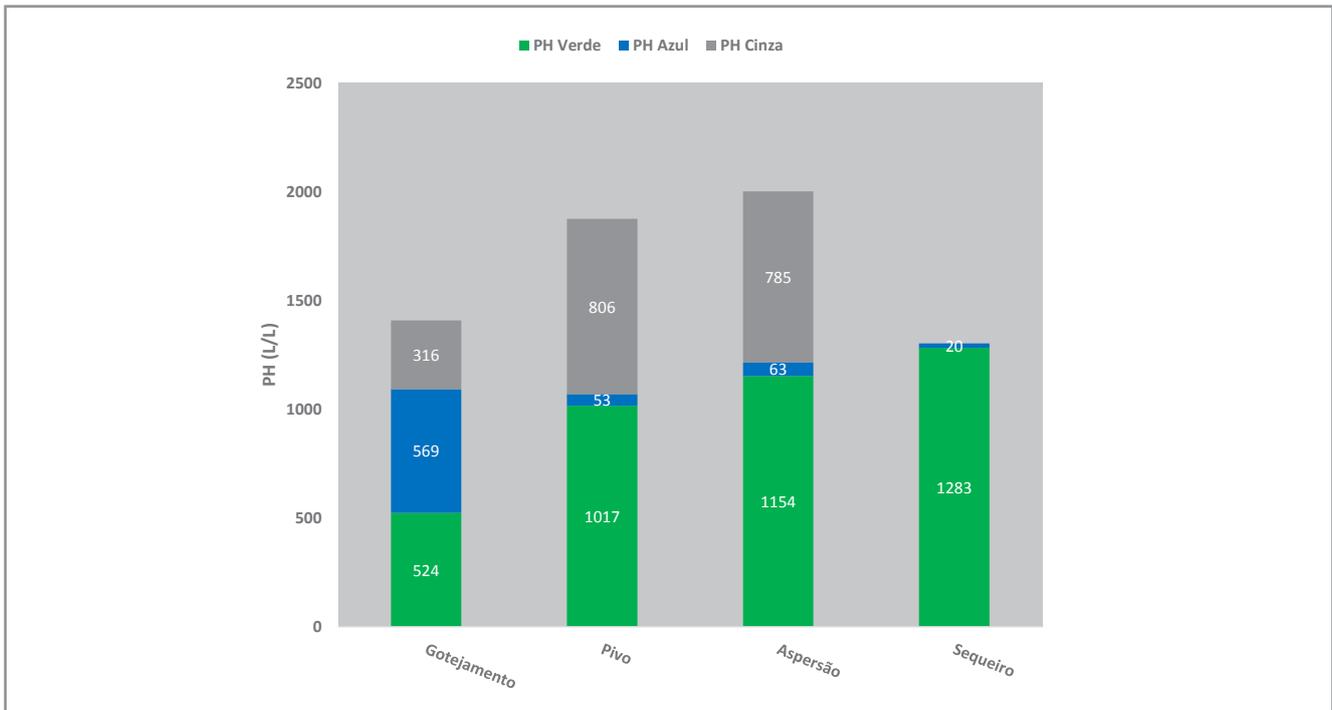


Figura 3. Pegada hídrica para produção de etanol de cana-de-açúcar em função de diferentes sistemas de cultivo nas condições da Usina Coruripe, Alagoas, Brasil.

respectivamente, para médias mundial e brasileira.

Em termos de consumo de água total para produção de etanol em função do sistema de cultivo (Figura 3), observa-se que o maior consumo ocorreu no sistema irrigado por aspersão, com valores de 2.003,29 L de água para cada L de etanol produzido, seguido do sistema por pivô central, com 1.876,49 L L⁻¹ e do gotejamento com 1.410,07 L L⁻¹. O menor consumo de água foi obtido no sistema de sequeiro, com 1.302,49 L L⁻¹.

No caso específico do sistema irrigado por gotejamento, a pegada hídrica estimada é muito próxima da obtida por Andrade Junior et al. (2012b), cujo valor foi de 1.483 L L⁻¹ (1.040 L L⁻¹ – água verde; 338 L L⁻¹ – água azul e 105 L L⁻¹ – água cinza), com a aplicação de 675 mm de água, 90 kg ha⁻¹ de N (ureia) e 60 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio), em cultivo fertirrigado de cana-de-açúcar no Estado do Piauí.

No tocante à componente água azul, parte agrícola e industrial, verificou-se que o maior volume foi obtido no sistema irrigado por gotejamento, com 569,42 L de água por L de etanol, seguido dos sistemas por aspersão e por pivô central, respectivamente, com 63,47 L e 53,38 L de água por L de etanol. O menor consumo (20,0 L L⁻¹) foi verificado para o etanol industrializado de plantas cultivadas no sistema de sequeiro, já que é computado apenas o consumo de água exclusivo do processo industrial.

Em termos de água cinza, os maiores valores foram verificados nos sistemas irrigados por pivô central, com 806,49 L L⁻¹, e por aspersão com 785,42 L L⁻¹. Por outro lado, o sistema por gotejamento apresentou a menor pegada hídrica cinza com 316,31 L L⁻¹.

A média da pegada hídrica total dos sistemas avaliados foi de 1.701,75, menor que os 2.021 L L⁻¹ calculados por Resende (2011), quando determinou o volume de água necessário para produzir etanol em dez indústrias de etanol de cana-de-açúcar do Estado de São Paulo. O referido autor utilizou dados das safras 2007 a 2009 constantes na base de dados FAO, (FAOSTAT, 2011) e dados climáticos da Climatwat 2.0. Contudo, as produtividades de colmo da cana-de-açúcar são menores que as relatadas nos sites das representações dos produtores de etanol no Brasil.

Nos estudos de Gerbens-Leenes; Hoekstra; Meer (2009), para o processamento de etanol da cana-de-açúcar, foram necessários 2.516 L de água por L de etanol industrializado. Isso demonstra que a amplitude da pegada hídrica é significativa, pois fatores como clima, manejo de solo e da cultura, variedades entre outros, interferem diretamente nos seus quantitativos.

Conclusões

Dos sistemas irrigados o gotejamento subsuperficial, embora tenha utilizado o maior volume de água azul, foi o que apresentou as menores pegadas hídricas para produção de colmos (128,00 L kg⁻¹) e etanol (1.409,00 L L⁻¹), apresentando assim os menores riscos ambientais.

O sistema de cultivo de sequeiro apresentou os menores valores de pegada hídrica: colmo (116,00 L kg⁻¹), e etanol (1.303,00 L L⁻¹), contudo, propiciou a menor produtividade de colmos (61,70 Mg ha⁻¹).

Referências

- ALMEIDA, J. de C. de. **A indústria sucroalcooleira-energética e os recursos hídricos**: Rio Santo Antônio Grande, Alagoas. Maceió, 2009, 91 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento. Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas.
- ANDRADE JUNIOR, A.S.; et.al. Níveis de água, nitrogênio e potássio por gotejamento subsuperficial em cana de açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** (Online), v.47, p. 78-84, 2012 a.
- ANDRADE JUNIOR, A.S. et.al. Agricultural water footprint of ethanol and sugar from sugar cane under fertigation production system. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF AGRICULTURAL ENGINEERING, 2012, Valencia. **Agriculture & engineering for a healthier life: abstracts**. Valencia: CIGR: EurAgEng, 2012 b. 1 CD-ROM.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Anuário estatístico da agroenergia 2014**: Statistical yearbook of agrienergy. 2014/ / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Produção e Agroenergia. Bilingue. – Brasília: MAPA/ACS, 2015. 205 p. ISBN
- CETESB. **Relatório de qualidade de águas subterrâneas no Estado de São Paulo, período 2004-2006**. São Paulo, 2007. 199 p. (Série Relatórios).
- CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira. Cana-de-açúcar. 2016**. Brasília, DF, 2016. Disponível em: http://conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/161227163001_boletim_cana_portugues_-_3º_lev_-16-17.pdf. Acesso em: 05 jan.2017
- CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, terceiro levantamento**, dezembro/2009 / Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília: Conab, 2009.a. Disponível em: http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/3_levantamento2009_dez2009.pdf Acesso março de 2017.
- CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, terceiro levantamento**, dezembro/2009 / Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília: Conab, 2011. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_01_06_09_14_50_boletim_cana_3o_lev_safra_2010_2011.pdf. Acesso março de 2017.
- DALRI, A.B. et al. Irrigação por gotejamento subsuperficial na produção e qualidade de cana-de-açúcar. **Irriga**, v.13, p.1-11, 2008.
- ELIA NETO, A.; SHINTAKU, A.; PIO, A.A.B.; CONDE, A.J.; FRANCESCO, F.; DONZELLI, J.L. **Manual de Conservação e Reúso de Água na Agroindústria Sucroenergética**. Coordenação Técnica: André Elia Neto. Publicado por: ANA – Agência Nacional de Águas; FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo, UNICA – União da Indústria da Cana-de-Açúcar; e CTC – Centro de Tecnologia Canavieira. Brasília, 2009.
- FAO. **CROPWAT 8.0 model**. Rome, 2009. Disponível em: <http://www.fao.org/nr/water/infores_infores_databases_cropwat.html>. Acesso em: 15 jul. 2012.
- GIACOMIN, G.S.; OHNUMA, A.A. Análise de resultados de pegada hídrica por países e produtos específicos. **Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v.8, n.8, p.1562-1572, 2012.
- GERBENS-LEENES, W.; HOEKSTRA, A.Y.; MEER, T.H. van der. The water footprint of bioenergy. **Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 106, p.10219-10223, 2009.
- GERBENS-LEENES, W.; HOEKSTRA, A. The water footprint of sweeteners and bio-ethanol. **Environment International**, v. 40, p. 202-211, 2012.
- HOEKSTRA, A.Y. et al. **The water footprint assessment manual: setting the global standard**. Londres; Earthscan, 2011.
- HOEKSTRA, A.Y. et al. **Global monthly water scarcity: blue water footprints versus blue water availability**. PLoS One, v.7, p. 32688, 2012.
- MEKONNEN, M.M.; HOEKSTRA, A.Y. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products, **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, 15, p. 1577-1600, 2011.
- RESENDE, A.N. **Sustentabilidade, água virtual e pegada hídrica: um estudo exploratório no setor bioenergético**. 2011. 81p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- SCHOLTEN, W. **The water footprint of sugar and sugar-based ethanol**. 2009. 148p. Essay (Master) - University of Twente, Enschede, The Netherlands.
- SILVA, V.P.R. et al. Uma medida de sustentabilidade ambiental: Pegada hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.1, p.100-105, 2013.
- SILVA, T.D. et al. Requerimento hídrico e coeficiente de cultura da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.64-71, 2012.
- SMEETS, E. et al. The sustainability of Brazilian ethanol – assessment of the possibilities of certified production. **Biomass and bioenergy**, v.32, p.781-813, 2008.
- USINA CORURUPE. **Levantamento detalhado de solos da Usina Coruripe**. Coruripe, 1997. 47p.

REFERENCIAÇÃO

SANTIAGO, A. D.; CHICO, D.; ANDRADE JUNIOR, A. S. de; GARRIDO, A.; CARNAÚBA, P. J. P. Pegada hídrica da cana-de-açúcar e etanol produzidos no estado de Alagoas, Brasil. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v.25, n.1, p.209-216, 2017.

Declaração: os trabalhos estão sendo publicados nesse número de AGROMETEOROS (v.25, n.1, ago 2017) conforme foram aceitos pelo XX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, realizado de 14 a 18 de agosto de 2017, em Juazeiro, BA e Petrolina, PE, sem revisão editorial adicional da revista.

Water footprint of sugarcane and ethanol in the Alagoas State, Brazil

Antonio Dias Santiago^{1(*)}, Daniel Chico², Aderson Soares de Andrade Junior³, Alberto Garrido² e Pedro J. P. Carnaúba⁴

¹Embrapa Tabuleiros Costeiros, Maceió, AL, antonio.santiago@embrapa.br

²CEIGRAM – Centro de Estudios e Investigación para la Gestión de Riesgos Agrarios y Medioambientales, Universidade Politécnica de Madri, Espanha, dani.chico@gmail.es, alberto.garrido@upm.es

³Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI, aderson.andrade@embrapa.br

⁴Usina Coruripe, Coruripe, AL, pedro.carnauba@usinacoruripe.com.br

(*)Corresponding author

ARTICLE INFO

Article history:

Received 16 June 2017

Accepted 10 August 2017

Index terms:

Saccharum officinarum

quantification and water efficiency

ABSTRACT

The aim of this study was to quantify the volume of water consumption in the production (water footprint) of sugarcane culms and ethanol, in two cropping systems (with and without irrigation), under soil and climate conditions of Coruripe Sugar Mill, in the county of Coruripe, Alagoas State, Brazil. Under irrigation system water footprint was measured for center pivot, sprinkler and subsurface drip irrigation systems. The subsurface drip system had the smallest water footprint for culms (127.48 L kg⁻¹) and ethanol (1,410.07 L L⁻¹) production. The smallest water footprint values were observed under non-irrigated (dryland) cropping system; however, it had also the lowest stems productivity (61.70 Mg ha⁻¹).

© 2017 SBAGro. All rights reserved.

CITATION

SANTIAGO, A. D.; CHICO, D.; ANDRADE JUNIOR, A. S. de; GARRIDO, A.; CARNAÚBA, P. J. P. Pegada hídrica da cana-de-açúcar e etanol produzidos no estado de Alagoas, Brasil. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v.25, n.1, p.209-216, 2017.

Disclaimer: papers are published in this issue of AGROMETEOROS (v. 25, n.1, aug 2017) as accepted by the XX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, held August 14-18, 2017 in Juazeiro, Bahia and Petrolina, Pernambuco, Brazil, without further revision by editorial board.