



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO RURAL**

**PEGADA HÍDRICA COMO INDICADOR DE SUSTENTABILIDADE
AMBIENTAL EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA NA AMAZÔNIA**

DOUGLAS CAVALCANTE COSTA

Araras

2017



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO RURAL**

**PEGADA HÍDRICA COMO INDICADOR DE SUSTENTABILIDADE
AMBIENTAL EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA NA AMAZÔNIA**

DOUGLAS CAVALCANTE COSTA

ORIENTADOR: PROF. Dr. RUBISMAR STOLF

CO-ORIENTADOR: PROF. Dra. LUCIETA GUERREIRO MARTORANO

Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Agroecologia e
Desenvolvimento Rural como requisito
parcial à obtenção do título de MESTRE
EM AGROECOLOGIA E
DESENVOLVIMENTO RURAL

Araras

2017

Cavalcante Costa, Douglas

Pegada Hídrica como indicador de sustentabilidade ambiental em sistemas de produção agrícola na Amazônia / Douglas Cavalcante Costa. -- 2017. 62 f. : 30 cm.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal de São Carlos, campus Araras, Araras

Orientador: Dr. Rubismar Stolf

Banca examinadora: Dr. Rubismar Stolf, Dr. Douglas Roberto Bizari, Dr. Roberto Giacomini Chapola

Bibliografia

1. Pegada Hídrica. 2. Soja. 3. Amazônia. I. Orientador. II. Universidade Federal de São Carlos. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada pelo Programa de Geração Automática da Secretaria Geral de Informática (SIn). DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

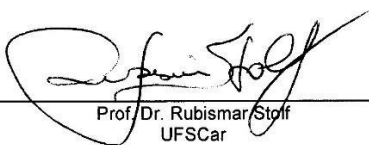


UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Agrárias
Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural

Folha de Aprovação

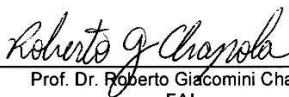
Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Douglas Cavalcante Costa, realizada em 20/03/2017:



Prof. Dr. Rubismar Stoff
UFSCar



Prof. Dr. Douglas Roberto Bizari
UFSCar



Prof. Dr. Roberto Giacomini Chapola
FAI

DEDICO

Aos meus grandes heróis, meus pais, Odinéa e José, que sempre me ensinaram os valores de uma vida honesta e responsável. Minha eterna gratidão pelo amor incondicional e por acreditarem em minha determinação e perseverança.

*“O simples bater de asas de uma
borboleta poderia influenciar o
curso natural das coisas e,
assim, talvez provocar um tufão
do outro lado do mundo”
Teoria do Caos*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ser meu amigo e estar junto comigo nessa caminhada infinita do conhecimento, bem como aos meus queridos pais, Odinéa Cavalcante e José Costa que tanto batalharam para minha formação acadêmica, em todos os momentos de minha vida. À minha irmã, Natália Costa, e minha querida avó, Maria Rita, que sempre apoiaram, acreditando em meu futuro e determinação.

Ao meu professor orientador Dr. Rubismar Stolf por todas as palavras de incentivo e colaboração, desde o primeiro contato via e-mail e durante todo o período em Araras.

À Dra. Lucieta Martorano, minha mãe científica, pela co-orientação neste trabalho, e por estar sempre ao meu lado em todos os anos de orientação, amizade, companheirismo e paciência.

À secretaria de pós-graduação de agroecologia e desenvolvimento rural, especialmente a funcionária Cris, pela paciência e compreensão.

Aos colegas da turma pelas discussões e troca de ideias que contribuíram muito na minha visão crítica.

Não seria possível citar todos aqueles que participaram direta ou indiretamente no desenvolvimento deste trabalho e descrever como foram importantes para minha evolução como pesquisador e como ser humano.

A todos, agradeço de coração pelo apoio e parceria!

SUMÁRIO

	Página
ÍNDICE DE TABELAS	i
ÍNDICE DE FIGURAS	ii
RESUMO.....	iii
ABSTRACT.....	v
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
CAPÍTULO 1. Conceptual base of water footprint of crops: literature review	
1.1. Introduction.....	3
1.2. Basic concepts.....	5
1.3. Agricultural production systems: importance of the conservationist use of the soil in the Amazon.....	6
1.4. Conclusion.....	8
Acknowledgement.....	9
References.....	9
CAPÍTULO 2 - Consolidação do indicador de desempenho ambiental de uso da água na Agricultura: perspectivas e desafios na adoção da metodologia	
Resumo.....	12
2.1. Introdução.....	13
2.2. Material e métodos.....	15
2.3. Resultados.....	15
2.4. Discussão.....	19
2.5. Conclusões.....	20
2.6. Agradecimentos.....	21
2.7. Referências.....	21
CAPÍTULO 3 - Pegada hídrica como indicador de sustentabilidade em polo de grãos na Amazônia	
Resumo.....	25
Abstract.....	26
3.1. Introdução.....	26

3.2. Material e métodos.....	27
3.3. Resultados e discussão.....	31
3.4. Conclusão.....	33
3.5. Agradecimentos.....	34
3.6. Referências.....	34
CAPÍTULO 4 - Dinâmica temporal da pegada hídrica por cultivar de soja em polo de grãos no Oeste do Pará, Amazônia	
Resumo.....	36
Abstract.....	36
4.1 Introdução.....	37
4.2 Material e métodos.....	38
4.3 Resultados e discussão.....	42
4.4. Conclusões.....	45
4.5 Referências.....	46
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	48

ÍNDICE DE TABELAS

Capítulo 1

Capítulo 2

Tabela 1. Detalhamento do levantamento quantitativo de artigos publicados sobre o tema PH no período de 2008 a 2016.....	16
Tabela 2. Principais resultados de PH no Mundo, no Brasil e na Amazônia.....	18

Capítulo 3

Tabela 1. Cultivares, ciclo e rendimento de soja em Paragominas, com base em dados disponibilizados por EL-HUSNY et al. (2006).....	28
Tabela 2. Total de chuva e chuva efetiva no ano de 2014 em Paragominas, Pará.....	30

Capítulo 4

Tabela 1. Cultivares, dias até a floração, número de dias para completar o ciclo, rendimento de soja (<i>Glycine max</i>), volume médio (2009 a 2014) de água precipitada (PRP) até a floração e até o final do ciclo em Santarém e Belterra.....	41
Tabela 2. Pegada hídrica verde das cultivares de soja (<i>Glycine max</i>), no período das safras agrícolas 2009/2010 a 2013/2014, no polo de grãos Santarém/Belterra.....	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 1

Figura 1. Factors that may influence the Water Footprint in agricultural production center	5
Figura 2. Dynamics of agriculture expansion in the Brazilian Amazon.....	7
Figura 3. Brazilian Amazon areas occupied for production systems considered as monocultures.....	8

Capítulo 2

Capítulo 3

Figura 1. Área de estudo na fazenda Poderosa, Paragominas, Pará.....	28
Figura 2. Equipamentos utilizados nas avaliações térmico hídricas em campo experimental.....	29
Figura 3. Precipitação pluvial média mensal no campo experimental, Paragominas, Pará.....	31
Figura 4. Estimativa da PH verde, cinza e total para as cultivares de soja.....	32

Capítulo 4

Figura 1. Mapa de localização do polo de grãos Santarém/Belterra no oeste do Pará, Amazônia.....	39
Figura 2. Variabilidade decenal média da precipitação pluvial e radiação solar, no período de 2009 a 2014 em Santarém e Belterra, Amazônia.....	43
Figura 3. A) Pegada Hídrica total por cultivares de soja estimada no período de 2009 a 2014 considerando 30 kg ha ⁻¹ de adubo nitrogenado. B) Pegada hídrica média considerando 30 kg ha ⁻¹ . C) Pegada hídrica média considerando de 2 kg ha ⁻¹ (adubação local).....	44

PEGADA HÍDRICA COMO INDICADOR DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA NA AMAZÔNIA

Autor: DOUGLAS CAVALCANTE COSTA

Orientador: Prof. Dr. RUBISMAR STOLF

Co-orientador: Prof^a. Dr^a. LUCIETA GUERREIRO MARTORANO

RESUMO

Objetivou-se com esta pesquisa avaliar a Pegada Hídrica (PH) como um indicador de sustentabilidade ambiental em sistemas de produção agrícola na Amazônia. A metodologia desenvolvida na Holanda ganhou adeptos e vem sendo testada nas mais diversas regiões no globo terrestre como estratégia de contabilizar quanto foi utilizado de água na produção de bem, produto ou serviço. Ao considerar que na Amazônia brasileira existe um grande reservatório de água doce do planeta Terra esta dissertação foi estruturada considerando esse indicador do uso consuntivo hídrico da seguinte forma: No capítulo 1 apresenta-se um breve referencial teórico da metodologia e como foi a abordagem desse conhecimento focando-se na PH como indicador a partir de um diagrama lógico de sustentabilidade da produção agrícola na Amazônia. No capítulo 2 fez-se um levantamento bibliográfico da produção científica que aplicou a metodologia da PH na avaliação de uso responsável da água na oferta de determinado produto. O levantamento bibliográfico em periódicos nacionais e internacionais entre 2006 a 2016 permitiu contabilizar 13.085 artigos, mas no Brasil apenas 3% dos estudos contemplaram a PH como um indicador de uso desse importante recurso natural que é a água, sendo que 4 artigos foram realizados com dados de uso da água na Amazônia brasileira. No capítulo 3 contabilizou-se a pegada hídrica no ano/safra 2013/2014 de cultivares de soja (*Glycine max*) mais plantadas no polo de grãos de Paragominas, nordeste paraense. Foram utilizados dados pluviométricos e fenológicos de experimento de campo da Embrapa, bem como fez-se avaliações agrometeorológicas, durante a safra agrícola, instalando-se a unidade amostral nos experimentos com soja conduzidos pela Embrapa,

localizado na fazenda Poderosa. A PH total nessa safra em Paragominas variou entre $1015 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$ a $1306 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$. No capítulo 4 fez-se uma análise da dinâmica temporal da PH de oito cultivares de soja, cultivadas no polo de grãos de Santarém, oeste do Pará. As taxas evapotranspiratórias foram estimadas considerando-se dados meteorológicos disponíveis entre 2009 a 2014 e dados fenológicos médios das cultivares disponíveis na literatura para a região. As estimativas de pegada hídrica média para a soja cultivada no polo de grãos Santarém/Belterra foi inferior aos valores obtidos por pesquisadores em outros países, como a China. Por exemplo, a PH foi cerca de 30% inferior aos resultados desse indicador para a soja cultivada na China. Vale destacar que no polo de grãos do oeste do Pará a PH foi 5% mais baixa aos valores obtidos em estudos com base em dados do polo de grãos de Paragominas. Também, ressalta-se que a soja cultivada em Santarém/Belterra apresenta valores de PH inferior a PH média global, cujos valores são 41% superiores aos obtidos nesta pesquisa. Conclui-se que existem cultivares de soja com alto potencial para serem utilizadas nos cultivos de grão pela alta eficiência no uso da água em um determinado ano/safra. Portanto, a decisão em semear uma cultivar nos polos de grãos da Amazônia pode ser subsidiada pelos valores de PH como estratégia de redução do uso consuntivo da água na agricultura pela alta eficiência evapotranspiratória com redução da Pegada Hídrica Verde, pois indiretamente, expressa os altos rendimentos de uma determinada cultivar em relação as demais cultivares disponíveis na região. Conclui-se que a PH é um excelente aferidor do uso consuntivo da água nos sistemas de produção agrícola na Amazônia, pois em termos de uso eficiente da água esse indicador expressou menores valores em relação à média global.

Palavras-chave: Água, uso consuntivo, soja, Paragominas, Santarém.

WATER FOOTPRINT AS AN ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY INDICATOR IN AGRICULTURAL PRODUCTION SYSTEMS IN THE AMAZON

Author: DOUGLAS CAVALCANTE COSTA

Adviser: Prof. Dr. RUBISMAR STOLF

Co-adviser: Prof. Dr. LUCIETA GUERREIRO MARTORANO

ABSTRACT

This research aimed to assess the water footprint as an indicator of environmental sustainability in agricultural production systems in the Amazon. The methodology developed in Holland gained adoption and has been tested in various regions of the planet as a strategy to account for how much water has been used in the production of goods, products, or services. As the Brazilian Amazon holds large freshwater reserves on Earth, this dissertation was structured considering this indicator of water consumptive use as follows. Chapter 1 presents a brief theoretical framework of the methodology and how this knowledge was approached focusing on water footprint (WF) as an indicator based on a logical diagram of agricultural production sustainability in the Amazon. Chapter 2 features a literature survey of the scientific production that applied the water footprint methodology to assess the responsible use of water to offer a given product. The literature survey in Brazilian and international journals between 2006 and 2016 yielded 13,085 papers, but, in Brazil, only 3% of the studies employed WF as an indicator of use of this important natural resource that is water, while four papers were carried out with data on water use in the Brazilian Amazon. Chapter 3 tallied the water footprint in the 2013/2014 harvest year of the most commonly planted soybean (*Glycine max*) cultivars in the grain center of Paragominas, northeast state of Pará. Pluvial and phenological data of a field experiment of Embrapa were used and agrometeorological assessments were performed during harvest with a sampling unit installed at the soybean experiments carried out by Embrapa at Poderosa farm. The total water footprint in that harvest in Paragominas ranged from 1,015 m³ ton⁻¹ to 1,306 m³ ton⁻¹.

Chapter 4 analyzes the temporal dynamics of the water footprint of eight soybean cultivars in the grain center of Santarém, west state of Pará. The evapotranspiration rates were estimated based on the meteorological data available from 2009 to 2014 and on mean phenological data of the cultivars available in the literature for the region, such as China. The mean water footprint estimated for soybean grown in the Santarém/Belterra grain center was lower than the valued obtained by researchers in other countries. For instance, the water footprint was about 30% below the results of that indicator for soybean crops in China. It is worth pointing out that, in the grain center in west Pará, the WF was 5% lower than the values reported in studies on databases of the grain center of Paragominas. Moreover, the soybean grown in Santarém/Belterra has a smaller water footprint than the global average, whose values are 41% higher than those obtained in this research. It is concluded that there are soybean cultivars with great potential to be used in grain crops for their high water use efficiency in a given harvest year. Therefore, the decision to sow one cultivar in the grain centers of the Amazon may be subsidized by the WF values as a strategy to reduce consumptive water use in agriculture due to the high evapotranspiration efficiency with a reduction in green water footprint since it indirectly expresses the high yields of a given cultivar compared to the other cultivars available in the region. It is concluded that WF is an excellent indicator of consumptive water use in the agricultural production systems in the Amazon since, in terms of efficient water use, this indicator expressed lower values compared to the global average.

Keywords: Water, consumptive use, soybean, Paragominas, Santarém.

INTRODUÇÃO GERAL

O desenvolvimento de uma nação só é sustentável quando há equilíbrio socioeconômico e ambiental capaz de ser expresso por indicadores de sustentabilidade passíveis de comparação e valoração de processos produtivos de uma região, compatíveis, principalmente com suas especificidades edafoclimáticas e o papel da biodiversidade em uma determinada região. As mudanças nos padrões de consumo da sociedade, o aumento populacional, o crescimento espacial desordenado das cidades, as incipientes políticas públicas ambientais, a baixa sensibilização ambiental do poder público e da população e o aumento da demanda por alimentos são as principais variáveis que influenciarão nas mudanças de cenários ambientais durante as próximas décadas. Essas mudanças e os impactos decorrentes de pressões antrópicas, têm ampliado as discussões relacionadas às questões ambientais, principalmente quanto à gestão dos recursos hídricos.

A Amazônia, durante séculos vivenciou diversos ciclos econômicos, iniciou-se com as drogas do sertão, mais tarde com a borracha, até o ciclo do ouro. Na década 60, o lema do governo era “integrar para não entregar”, nesse contexto surgiu a rodovia Transamazônica, com o objetivo de interligar esse território, inicialmente inóspito e de difícil acesso às demais regiões do Brasil. Nesses processos de ocupação foi negligenciado, praticamente a conservação da floresta, a manutenção de mananciais, qualidade dos recursos hídricos na região. Os intensos processos de garimpagem no rio Tapajós, pastagens em vias de degradação predispondo o solo ao processo erosivo das chuvas e desmatamento ilegal são fortes ameaças à manutenção de bens e serviços ecossistêmicos na Amazônia. Atualmente, ainda se observa negligência pelo poder público quanto ao planejamento e fiscalização rigorosa para garantir o uso responsável e eficiente da água potável disponível às populações.

Vale ressaltar que na década de 90 houve um avanço da fronteira agrícola para o norte do Brasil, instalando-se, mais especificamente no Pará importantes polos de produção grãos, principalmente os localizados em Paragominas e Santarém. Esse avanço da fronteira agrícola modificou a dinâmica de mercado no Pará, trouxe novas oportunidades pelo agronegócio, mas é necessário o

estabelecimento de indicadores de sustentabilidade para subsidiar estratégias de decisão, principalmente quanto a gestão e uso eficiente da água.

O conceito de Pegada Hídrica é relativamente novo e tem como objetivo, quantificar o volume total de água apropriada pelo processo produtivo, ou seja, essa metodologia é capaz de subsidiar análises dos impactos ambientais gerados pelos padrões de consumo do planeta, que vão além da capacidade de suporte do Planeta

Neste sentido, esta dissertação foi estruturada em quatro capítulos, os quais estão organizados em formato de artigos científicos. Assim, o capítulo 1, apresenta um breve referencial teórico do indicador de sustentabilidade. O capítulo 2 trata de avanços e desafios na aplicação da metodologia, que nortearam a evolução do conhecimento para os demais capítulos. O capítulo 3 aborda a dinâmica temporal da pegada hídrica em oito cultivares de soja, utilizadas na região do polo de grãos de Santarém, o período analisado foi de 2009 a 2014. No capítulo 4 avaliou-se a pegada hídrica da soja no ano-safra 2013/2014, no município de Paragominas, inclusive com informações sobre o regime térmico-hídrico, monitorado em experimento de campo.

Objetiva-se com esta dissertação contribuir com informações sobre a aplicação da metodologia da Pegada Hídrica na seleção de indicadores de sustentabilidade para contribuir com a gestão hídrica na Amazônica.

CAPÍTULO 1.

Conceptual base of water footprint of crops: literature review

1.1. Introduction

The water footprint is a freshwater usage indicator by production systems, its concept appeared in 2002 with the purpose of quantifying all the water used in production processes. It comprises the green footprint, which refers to the estimates of use of rainfall by evapotranspiration; the blue footprint an indicator of water use in irrigated crops; and the grey footprint which accounts for the volume of water required to dilute certain amount of pollutant to return to the environmental standards of water quality in water bodies (Hoekstra and Hung, 2002). Early studies of Hoekstra (2003) and Hoekstra and Chapagain (2008) provided the theoretical basis for analysing the link between human consumption and global drinking water use (Hoekstra, 2010). About 70% of the global freshwater consumption is used by agriculture (Hoekstra and Chapagain, 2007), which indicates an urgent need to assess the water footprint from agricultural crops. For example, in areas where crops do not use irrigation, green and grey water footprint should be accounted to support sustainability analyses, where the volume and quality of water supplied to neutralize the effects of pesticides and to cultivate one ton of a certain annual crop are computed.

Scenarios illustrating the further growth of global water extraction and consequent water scarcity justify the need of consumption-based indicator of drinking water use, which accounts for the appropriation of water volumes required for human consumption, including the direct and indirect use of a consumer or producer (Galli et al., 2012; Hoekstra, 2003). Evidences show agriculture as the largest drinking water user (Mekonnen and Hoekstra, 2012, 2014), in a growing demand expected to reach 9,060 billion m³. year⁻¹ of consumptive water use for producing food and fodder crops by 2050 (Mekonnen and Hoekstra, 2014). In the agricultural sector, the water footprint is an important indicator to estimate the volume of water consumption as well as the volume of water pollution (Hoekstra and Chapagain, 2008; Hoekstra et al., 2011).

The water footprint indicators include the blue, green and grey water footprint of the production of a good to refer, respectively, the volume of surface and ground water consumed (evapotranspiration), the rain water consumed and the volume of drinking water required to assimilate the load of pollutants (Mekonnen and Hoekstra, 2011). Studies have been recently developed considering such aspects, within the agricultural production system (Mekonnen and Hoekstra, 2011) have made an excellent review of the developments in this field highlighting the works of Siebert and Döll (2008, 2010) and Hanasaki et al. (2010) which estimated the global green and blue water consumption for 24 crops, and the global green and blue water for all crops, respectively. More recently, Hernandez et al. (2014) have analysed the water footprint of the bioenergy crops, capturing the differences between the main producing states in the Brazilian Centre-South region. The authors concluded by highlighting the need of investigation of land use changes and crop management for the water balance of specific sites.

The “Water Footprint Manual”, in both 2009 and 2012 versions, presents the calculation for the water footprint of a growing crop (Hoekstra et al., 2009). The method for the blue water footprint for agricultural crops takes into account the amount of water available in a certain period that is consumed by crop production from withdrawal of water for irrigation from rivers and aquifers, but evaporates and returns somewhere, not in the same catchment (Hoekstra et al., 2009).

For green water footprint calculation, the precipitation pluvial on land is emphasized, particularly the volume of rainwater consumed during the crop growth. The calculation method assumes the total rainwater evapotranspiration plus the water incorporated into the harvested crop (Hoekstra et al., 2011), and it is expressed as the total m³ to produce the certain amount (in tons) of a crop yield per year.

Therefore, the aim of this article assesses the state of the art of the Water Footprint methodology considering the study area the Amazon, from four guiding questions:

- (i) How was the development production process in the Brazilian Amazon?
- (ii) How was the temporary process of occupation in the Brazilian Amazon?
- (iii) Are soybean production systems in the Brazilian Amazon sustainable?
- (iv) Is it possible to use the water footprint indicator to evaluate the environmental sustainability of soybean production in the Amazon?

1.2. Basic concepts

Figure 1 shows a diagram based on the Water Footprint as an indicator of environmental sustainability to subsidize strategic planning at the center of agricultural production in the Amazon.

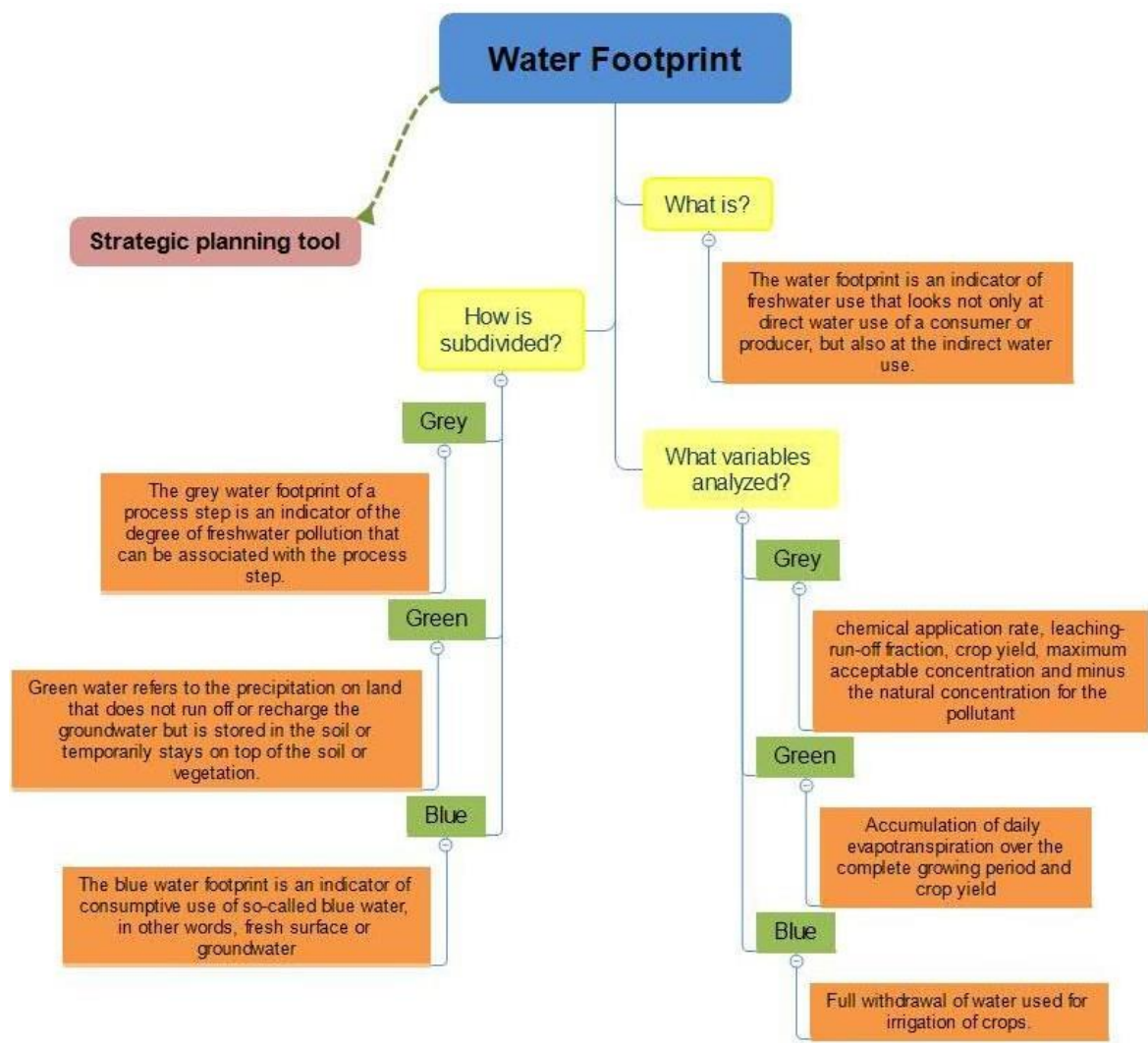


Figure 1. Factors that may influence the Water Footprint in agricultural production center.

1.3. Agricultural production systems: importance of the conservationist use of the soil in the Amazon

In the context of agricultural expansion in the region, annual crops are being implanted in large production centers such as the Paragominas grain center and the Santarém grain pole where agribusiness has been adding economic value by including in the productive process areas that were degraded pastures, or fallow.

In addition to the water footprint evaluation it is important to consider the production system adopted in some grain poles: i) the conventional system with ploughed and harrowing; or ii) the no-tillage system (NT), which is considered a conservationist management system and consists of practices such as crop rotation, tillage exclusively in the row and permanent soil cover (Cassol et al, 2007). The no-tillage system involves a group of techniques that revolutionized Brazilian agriculture. This production system resulted in increased productivity in crops as well as improved productive capacity of the soil by reducing erosion, nutrient cycling, increased biological activity and management of crop residues (Ceretta et al, 2002; Salton et al., 1998; Franchini et al., 2003).

The soil water dynamics processes under no-tillage system have influence on the texture, porosity, clay content and organic matter (Dalmago, 2004) and such conditions are favoured by higher soil water storage for prolonged periods of drought (Martorano et al., 2009). Concerning Brazilian Amazon, soybean production in managed land has intensified since 2002, especially in Santarém, Belterra and Mojui dos Campos municipalities.

The lower the water footprint the bigger is the efficiency of species of that year to use of storm water supply in the service of evapotranspiratory rates for the production of photoassimilates (growth, development and yield), ie to achieve high crop yields (Martorano et al., 2014). However, it is also necessary to account for other footprints, for example grey water footprint which refers to the volume of drinking water that is required to assimilate the load of pollutants based on patterns of water quality of the existing environment (Mekonnen and Hoekstra, 2011; Postel et al., 1996). There is a need for investigating the linkages between agrochemical pollution and water quality supply, particularly in areas near protected ecosystems.

Figure 2 presents a time scale indicating the years that were changes in Amazonia to give an idea of the footprints left after the natural vegetation was removed by the anthropic process of occupation and production in the region.

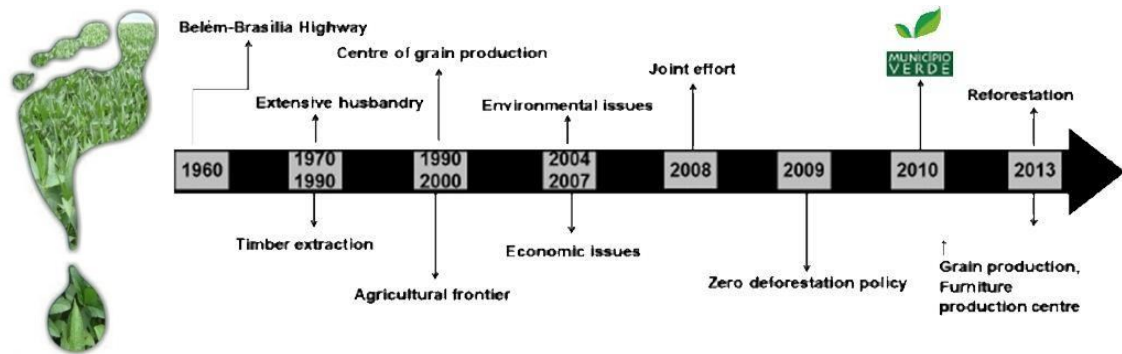


Figure 2. Dynamics of agriculture expansion in the Brazilian Amazon.

In the Brazilian Amazon there are particular areas, with typical Cerrado vegetation as well as areas of Savannah, crossing the Amazon Biome. Note that the Cerrado is the second largest Brazilian biome and covers an area of approximately 2,000,000 km² (Cavalcanti & Joly, 2002), including 16% in Amapá, Roraima 27%, 43% in Mato Grosso and 45% in the Maranhão state. In the Figure 3, it is observed areas represented in orange tons within the Amazon Biome that can be understood as areas with deforestation, due to the pattern of natural vegetation, typical of Savannah. Then, we found that in the state of Acre and Amazonas, about 3% have typical vegetation of Savannah, followed by Pará state with 6% and Rondônia with 10%. In assessing loss patterns in the Amazon Biome it is necessary to account for these areas to not occur inconsistencies in assessments of dense vegetation losses of Amazon rainforest.

Looking at the major land use and land cover classes (Figure 3), it is possible to identify the following features: native forest (NF); regeneration (REG), livestock (L), agricultural land, reforestation and other (Cerrado, rocky outcrops with shrub evidence, cloud and shadow; water bodies). More than 50% of anthropized areas in the Amazon are designed for livestock use. The annual agricultural participates with about 6% of the area. These figures reinforce the potential for a production system change in the region, for a more sustainable way.

The intensification of command and control actions, programs and new technologies monitoring, the new Forest Code approval and even the expansion of environmental awareness of the actors of the production system in the region, reinforce the need for a paradigm shift to transform environmental liabilities in areas already disturbed in the Brazilian Amazon, in opportunities for conservation use.

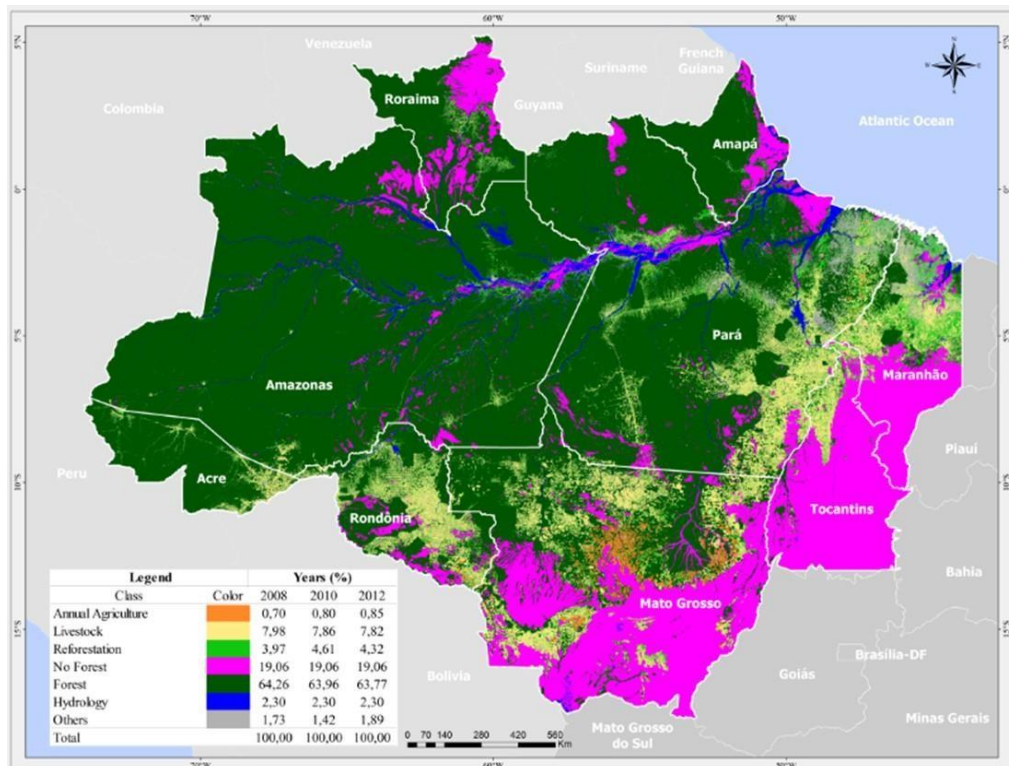


Figure 3. Brazilian Amazon areas occupied for production systems considered as monocultures

Data source: INPE/EMBRAPA

1.4. Conclusions

It is expected that the information generated in this work, together with the studies on sustainable soybean program, may be useful to:

- (i) The sustainability indicator, water footprint, is capable of accounting for the volume of water used in each production process, as well as being used as a tool to monitor the human impact on the environment, resulting from the development process;

- (ii) Support with data the control actions of anthropogenic pressures in areas with higher offer in biodiversity located in Amazon native forest;
- (iii) Water recycling, the adoption of organic production systems and no-tillage, the recovery of anthropic areas, are strategies to increase the water supply with possible reduction of the water footprint.

Acknowledgement

We would like to thank by the ROBIN Project - FP7 and the all Brazilian Institution for providing data base and other important materials during the writing of the manuscript. We gratefully acknowledge for their overall supports.

References

- Cassol, E. A.; Denardin, J. E.; Kochhann, R. A. 2007. Sistema plantio direto: Evolução e implicações sobre a conservação do solo e da água. In: Ceretta, C. A.; Silva, L. S.; Reichert, J. M. (ed.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.5, p.333-370.
- Cavalcanti, R.B., Joly, C.A. 2002. Biodiversity and Conservation Priorities in the Cerrado Region. In OLIVEIRA, PE. and MARQUIS, RJ. (Eds.). The Cerrados of Brazil. Ecology and Natural History of a Neotropical Savana. New York: Columbia Univesity Press, p. 351-367.
- Ceretta, C. A.; Basso, C. J.; Flecha, A. M. T; Pavinato, P. S.; Vieira, F. C. B.; Mai, M. E. M. 2002. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia preta/milho, no sistema plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, v. 26, p. 163-171.
- Dalmago, G.A. 2004. Dinâmica da água no solo em cultivos de milho sob plantio direto e preparo convencional. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 244 f.
- Franchini, J. C., Hoffmann-Campo, C.B., Torres, E., Miyazawa, M., Pavan, M.A. 2003. Organic composition of green manures during growth and its effect on cation mobilization in an acid oxisol. Communications in Soil Science and Plant Analysis, New York, v. 34, p. 2045-2058.
- Galli, A., Wiedman n, T., Ercin, A., Knoblauch, D., Ewing, B. and Gilju m, S., 2012. Integrating Ecological, Carbon, and Water Footprint into a "Footprint Family" of Indicators: Definition and Role in Tracking Human Pressure on the Planet. Ecological Indicators, 16, 100-112.

- Hanasaki, N., Inuzuka, T., Kanae, S., and Oki, T. 2010. An estimation of global virtual water flow and sources of water withdrawal for major crops and livestock products using a global hydrological model: *Journal of Hydrology*, 384, pp. 232–244.
- Hernandes, T.A.D.; Bufon, V.B.; Seabra, J.E. 2014. Water footprint of biofuels in Brazil: assessing regional differences. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 8(2), 241-252.
- 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 n.11*, September, IHE, 120p.
- Hoekstra, A.Y. 2003. 'Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade', *Value of Water Research Report Series No. 12*, UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft, the Netherlands.
- Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K. 2007. The water footprints of Morocco and the Netherlands: Global water use as a result of domestic consumption of agricultural commodities. *Ecological Economics*, vol 64, no 1, pp143–151.
- Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K. 2008. *Globalization of Water. Sharing the Planet's Freshwater Resources*. Blackwell Publishing, Oxford, UK.
- Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M., Mekonnen, M.M. 2009. *Water Footprint Manual: State of the Art 2009*, Water Footprint Network. Enschede, the Netherlands.
- Hoekstra, A. Y. 2010. The water footprint of animal products. Pages 22–33 in *The Meat Crisis: Developing More Sustainable Production and Consumption*. J. D'Silva, and J. Webster, ed. Earthscan, London, UK.
- Hoekstra, A.Y. Chapagain, A.K., Aldaya, M.M., Mekonnen, M.M. 2011. *The Water Footprint Assessment Manual—Setting the Global Standard*, Earthscan. London, UK, 2011.
- Hoekstra, A.Y., Mekonnen, M.M., 2011. Global Water Scarcity: Monthly Blue Water Footprint Compared to Blue Water Availability for the World's Major River Basins, *Value of Water Research Report Series No.53*. UNESCO-IHE.
- Martorano, L.G., Bergamaschi, H., Dalmago, G.A., De Faria, R. T., Mielniczuk, J. Comiran, F. 2009. Indicadores da condição hídrica do solo com soja em plantio direto e preparo convencional. *Revista Brasileira de Engenharia Ambiental*, v.13, n.4, p. 397-405.
- Martorano, L. G., Bergamaschi, H., Dias, C. T. Dos S., Dalmago, G. A., Faria, R. T., Heckler, B. M. 2014. Differential expression in soybean leaf during water deficit in Brazil management system. *International Journal of AgriScience*. Vol. 4(1): 1-15.

- Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y. 2012. A global assessment of the water footprint of farm animal products. *Ecosystems* 15 (3), 401–415.
- Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y. 2014. Water footprint benchmarks for crop production: A first global assessment. *Ecological Indicators*, 46, 214-223.
- Postel, S.L., Daily, G.C., Ehrlich, P.R. 1996. Human appropriation of renewable freshwater. *Science*, 271(5250), 785–788.
- Salton, J. C., Hernani, L. C., Fontes, C. Z. 1998. Sistema Plantio Direto - O produtor pergunta, a Embrapa responde. Dourados: Embrapa- CPAO, Brasília: Embrapa - SPI, 248 p. (Coleção 500 Perguntas 500 Respostas)
- Siebert, S., Döll, P., 2008. The Global Crop Water Model (GCWM): Documentation and first results for irrigated crops.
- Siebert, S., Döll, P., 2010. Quantifying blue and green virtual water contents in global crop production as well as potential production losses without irrigation. *Journal of Hydrology*, 384(3), 198-217.

CAPÍTULO 2.

Indicador de desempenho ambiental no uso de água na agricultura: perspectivas e desafios na adoção da metodologia de Pegada Hídrica

Douglas C. Costa¹ Lucieta G. Martorano², Rubismar Stolf¹

¹Universidade Federal de São Carlos, 13600-970, Araras, SP, Brazil

²Embrapa NAPT Médio Amazonas, 68035-110, Santarém, PA, Brazil

***Corresponding author: eng.douglascavalcante@gmail.com**

Resumo:

O agronegócio possui um papel importante no provimento de alimentos às populações, bem como, na balança comercial brasileira. Porém, o processo crescente de urbanização, o aumento populacional e a alta competitividade dos mercados, vem contribuindo para gerar cenários alarmantes quanto a distribuição e gestão dos recursos hídricos. Em todo o Planeta, a metodologia da pegada hídrica está sendo largamente aplicada e tem como objetivo quantificar o volume de água doce utilizada na cadeia produtiva, bem como os níveis de poluição gerada por diferentes fontes de uso. Realizou-se levantamento bibliográfico de artigos em revistas indexados nos portais da Scopus, Google Scholar, Research Gate e Portal Capes, publicados no período de 2008 a 2016 com aplicações da metodologia de pegada hídrica para avaliar esse indicador de sustentabilidade no uso da água em diferentes setores e produtos. Após a contabilização, verificou-se que no Brasil o tema ainda é pouco abordado, o que pode ser explicado pela reduzida sensibilização sobre a importância em conservar importantes serviços ecossistêmicos na Amazônia como a manutenção da qualidade das águas e na maior rigorosidade no processo de aplicação de leis contra crimes ambientais. Na Amazônia, berço do maior aquífero do mundo e das belezas naturais, o cenário é preocupante. Conclui-se que a pegada hídrica se apresenta como um importante indicador para compor a gestão dos recursos hídricos e das bacias hidrográficas, sendo uma importante ferramenta de planejamento estratégico em sistemas produtivos na região.

Palavras-chave: Amazônia. Aumento populacional. Gestão hídrica.

2.1. Introdução

O aumento populacional, o processo crescente de urbanização, a desorganização espacial das metrópoles, a alta competitividade em mercado globalizado, a crescente demanda por alimentos e energia, têm elevado consideravelmente a demanda hídrica, principalmente pelo setor agrícola, impondo mudança de paradigma para garantir a oferta, com segurança alimentar. Os cenários para 2050, apontam que para suprir a demanda do setor industrial e das populações em crescimento, o consumo hídrico mundial se elevará em 55% para uma população mundial estimada em 9,7 bilhões de pessoas, que em 2100 poderá atingir os 11,2 bilhões de habitantes (United Nations, 2015; 2016).

Do ponto de vista global, o setor agrícola até 2050 precisará produzir cerca de 60% a mais de alimentos, elevando o consumo médio de água para $9.060 \text{ Gm}^3 \text{ ano}^{-1}$. Para reduzir perdas no setor produtivo é necessário que sejam adotadas estratégias para aumento da eficiência no uso da água e no rendimento das culturas, além de adoção de políticas de vigilância mais rigorosas no uso do recurso hídrico (United Nations, 2015).

Os indicadores de desempenho ambiental como a Pegada Hídrica (PH), Ecológica (PE)/Carbono (PC) apontam que os padrões de consumo da humanidade estão além da capacidade de resiliência do Planeta (Galli et al., 2012; Hoekstra e Wiedmann 2014). Ambas metodologias são capazes de subsidiar análises dos impactos ambientais negativos quanto ao uso dos recursos naturais, sendo a PH relacionada o uso consuntivo da água e a PE/PC ao uso dos espaços. Nesse contexto, busca-se apontar indicadores de uso eficiente da água para a manutenção dos serviços ecossistêmicos, incluindo o provisionamento de água limpa.

A metodologia da PH proposta por Hoekstra et al. (2011) contabiliza o volume de água utilizada na cadeia produtiva, possui caráter multidimensional em volumes de consumo de água por fonte de uso, bem como os volumes de poluição, pelo tipo de atividade. A Pegada Hídrica (PH) é subdividida em Azul (PH_{azul}), Verde (PH_{verde}) e Cinza (PH_{cinza}), em que a PH_{azul} quantifica o uso consuntivo da água captada diretamente de corpos hídricos, que não retorna para o seu local de origem. Já a PH_{verde} estima o total de água armazenada no solo e a evapotranspirada durante o ciclo das culturas. Por fim, a PH_{cinza} indica a quantidade de água necessária para os corpos hídricos assimilarem um determinado poluente inserido no processo produtivo, considerando o limite máximo

permitido nas legislações dos países, sendo que no Brasil, as referências são com base na resolução 357 de 2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

Na Amazônia, o avanço da fronteira agrícola tem atraído empreendedores de outras regiões do país, fortalecimento na economia da região, consolidação de universidades em polos de grãos como no Oeste e Nordeste paraense, ou seja, os polos Santarém/Belterra/Mojuí dos Campos e Paragominas/Ulianópolis/Dom Eliseu, respectivamente. Nesses polos totalizam-se cerca de 100 mil hectares de área plantada com soja (SAGRI, 2012).

Objetiva-se com este trabalho apresentar a evolução do conhecimento sobre a Pegada Hídrica no Mundo, no Brasil e na Amazônia para apontar evidências dos principais desafios na adoção da metodologia, com uma visão crítica do estado da arte atual desse indicador de desempenho ambiental de uso da água na agricultura.

Contextualização da Pegada Hídrica

O conceito de Pegada Hídrica (PH) é relativamente novo. Foi apresentado pela primeira vez por Hoekstra, (2003) com o objetivo de contabilizar o consumo de água doce em relação ao padrão de consumo das populações no globo terrestre. Allan (1998) já ressaltava sobre a importância em contabilizar a água embutida nos produtos agrícolas comercializados entre países, apresentando assim, o conceito de “água virtual”. Para Hoekstra e Chapagain (2008) a água virtual refere-se ao volume de água utilizado para produzir uma determinada mercadoria, bens e serviços, totalizando a água consumida em todas as fases da cadeia produtiva. Assim, ao contabilizar a água virtual, agrega-se valor a água utilizada oriunda de países que suprem demandas de mercado de outras regiões com escassez hídrica.

O governo espanhol foi o primeiro a adotar formalmente a pegada hídrica como indicador de desempenho ambiental, pois exigiu dados de pegada hídrica em nível de bacias hidrográficas, na elaboração dos planos de gestão dessas bacias (Garrido et al, 2010). Durante a reunião sobre água entre os países europeus estabeleceu-se que a PH é um indicador de: “utilização responsável, gestão, planejamento e proteção do uso do recurso hídrico” para garantir a sua qualidade e disponibilidade para as atuais e gerações futuras (EWP, 2012). Ressalta-se que a subdivisão da PH em verde, azul e cinza surgiu

com Mekonnen, (2011) que apresentou a PH global de $9.087 \text{ Gm}^3 \text{ ano}^{-1}$ contabilizada no período de 1996 a 2005, correspondente a 74% PH_{verde}, 11% PH_{azul} e 15% PH_{cinza}.

2.2. Material e métodos

Neste trabalho, fez-se um levantamento bibliográfico, utilizando palavras chaves de buscas em repositórios como: *Google Scholar*, *Scopus*, *Research Gate* e Portal Capes. Foram organizados os artigos que adotaram a metodologia de avaliação da PH, desde o lançamento do primeiro manual por Hoekstra et al. (2009) até novembro de 2016. As publicações foram categorizadas por área de estudo, estratificando-as em cada portal quanto o número de publicações que apresentavam caráter mundial, no Brasil e na Amazônia.

Contabilizou-se o número de publicações, separando-as por produtos. Identificou-se com a letra A os artigos publicados sobre a PH de mercadorias, produtos e serviços de um modo geral e, com a letra B aqueles que estimaram a PH do setor agrícola. Os dados das publicações relacionados aos produtos agrícolas, foram organizados em forma de tabela, com destaque para a área e período de estudo, componente da PH estimada, unidade de PH e respectivos autores.

2.3. Resultados

Contabilização de trabalhos publicados no Mundo, no Brasil e na Amazônia

A partir do levantamento bibliográfico no período de 2008 a 2016 verificou-se que ainda é reduzido o volume de publicações que utilizam o indicador de Pegada Hídrica na Amazônia, ao comparar com outras regiões, possivelmente explicado pela alta oferta de água doce e reduzida preocupação com o uso eficiente de água. Todavia, com a extinção de mananciais, poluição de corpos hídricos, principalmente nos grandes centros urbanos, vislumbra-se a mudança desse paradigma.

Quando inserido os indexadores no repositório da *Scopus* totalizaram-se 3.856 artigos publicados, sendo cerca de 35% realizados nos EUA, contabilizando o maior número de publicações. Ainda no repositório da *Scopus*, obtiveram-se 11 artigos

publicados no Brasil, porém apenas 2 são relacionadas as estimativas considerando-se os produtos oriundos da produção agrícola.

No repositório do *Google Scholar* foram contabilizados 13.085 artigos publicados, sendo, 97% referentes a estudos realizados em outros países e, apenas 3% abordam a PH no Brasil. No *Research Gate* foram encontradas 1.356 publicações, sendo, 2,8% publicados em nível nacional. No Portal Capes, totalizaram-se 822 artigos, sendo 2,1% referente ao Brasil. Já na Amazônia, esses repositórios continham em média 3 artigos publicados, o que confirma a necessidade de mais estudos sobre o tema na região. Na Tabela 1 apresenta-se o detalhamento do levantamento quantitativo em cada base de dados levantada neste trabalho.

Tabela 1. Detalhamento do levantamento quantitativo de artigos publicados sobre o tema Pegada Hídrica no período de 2008 a 2016.

Área de estudo	<i>Scopus</i>		<i>Google Scholar</i>		<i>Research Gate</i>		Portal Capes	
	A*	B*	A*	B*	A*	B*	A*	B*
Mundo	3.856	618	12.700	5.170	1.320	300	804	435
Brasil	11	2	382	257	36	14	14	2
Amazônia	2	2	3	2	2	2	4	3
Total	3.869	622	13.085	5.429	1.358	316	822	440

A* Corresponde a artigos publicados sobre o tema PH de mercadorias, produtos e serviços.

B* Corresponde a artigos publicados sobre o tema de PH do setor agrícola.

Estado da arte atual da Pegada Hídrica na produção agrícola

Na Tabela 2 estão indicados os resultados disponíveis na literatura sobre Pegada Hídrica no Mundo, no Brasil e na Amazônia.

O uso consuntivo da água global foi estimado pela primeira vez por Hoekstra e Hung, (2002) que consideraram múltiplas culturas cultivadas em diversos países. Posteriormente, essa metodologia foi amplamente discutida também no setor pecuário (Chapagain e Hoekstra, 2003). No período de 1997 a 2001 o consumo de água global foi estimado em 7.451 Gm³ ano, sendo que 15% foi atribuído ao uso na agricultura para produzir alimentos destinados à exportação. Os autores, verificaram que na cultura da soja a PH média global foi de 1.789 m³ t⁻¹ e, no Brasil 1.076 m³ t⁻¹ (Chapagain e Hoekstra, 2004). Ao avaliarem a PH global do arroz (Chapagain e Hoekstra, 2011), considerando

alta resolução espacial e dados locais de irrigação, obtiveram a média global de PH para a cultura de $1.325 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$.

Todavia, Lovarelli et al. (2016) destacou que a principal preocupação no cálculo de médias globais de PH refere-se à complexidade de avaliação de cada região, uma vez os países possuem particularidade em solo, clima e tecnologia de manejo das terras que influenciam no rendimento das culturas. Portanto, há necessidade de estudos locais para que se alcance resultados mais precisos. Por exemplo, Costa et al., (2016) avaliou a PH_{total} utilizando dados térmico-hídricos locais e ecofisiológicos de diferentes cultivares de soja plantadas em Paragominas, Pará (Amazônia) no ano/safra 2013/2014, sendo contabilizada em média a PH da cultura em $1.327 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$. Para o Oeste do Pará, Ayala et al. (2016), avaliaram a PH_{verde} da soja e encontraram valores de $1.700 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$. Vale destacar que esses autores estimaram a PH_{cinza} no ano de 2010 com projeções para 2050, mas consideraram como fator de poluição o elemento químico fósforo como principal poluente causador de impacto ambiental na bacia hidrográfica do Tapajós. As estimativas apontaram aumentos na PH_{verde} em 304% e na PH_{cinza} em 268% até o ano de 2050 (Ayala et al., 2016). Também no Brasil, Bleninger e Kotsuka, (2015) contabilizaram a PH da soja cultivada em Maringá, no estado do Paraná e do óleo de soja produzido no município de Araucária, totalizando cerca de $2.210 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$ para a soja em grãos e $6.201 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$ para o óleo, bem como, $80 \text{ Gm}^3 \text{ ano}^{-1}$ de água virtual dos produtos importados e exportados no Brasil. Entre os 21 trabalhos listados na Tabela 2 é possível notar que predominam (52%) as avaliações de Pegada Hídrica em cultivos de grãos.

Tabela 2. Principais resultados de Pegada Hídrica no Mundo, no Brasil e na Amazônia

Produtos (agricultura)	Área de estudo	Período	Componentes	Unidade	PH _{total}	Autores
Soja (grãos)	Brasil (Amazônia)	2014	Verde, cinza	m ³ t ⁻¹	1.327	Costa et al. (2016)
Soja (grãos)	Brasil (Amazônia)	2010 e 2050	Verde, cinza	m ³ t ⁻¹	1.700	Ayala et al. (2016)
Soja (grãos)	Brasil (Maringá, PR)		Verde, cinza	m ³ t ⁻¹	2.210	Bleninger e Kotsuka, (2015)
Cana-de-açúcar (sequeiro)	Brasil (Paraíba)	2010	Verde, cinza	m ³ t ⁻¹	103,52	Da Silva et al. (2015)
Cana-de-açúcar (irrigada)			Verde, azul, cinza		235,96	
Cacau	Colômbia	2012	Verde	m ³ t ⁻¹	17.100	Ortiz-Rodriguez et al. (2015)
Múltiplas culturas (soja, milho, banana, café, arroz etc.)	América Latina e Caribe	1996 – 2005	Verde, azul, cinza	Gm ³ ano ⁻¹	827	Mekonnen et al. (2015)
Múltiplas culturas	Global	1997 – 2001	Água virtual	Gm ³ ano ⁻¹	1.263	Chapagain e Hoekstra, (2008)
Batata, tomate, cevada, laranja etc.	Tunísia	1996 – 2005	Verde, azul, cinza	Mm ³ ano ⁻¹	16.600	Chouchane et al. (2015)
Cevada, uvas, milho, cana-de-açúcar etc.	Morocco	1996 – 2005	Verde, azul, cinza	Gm ³ ano ⁻¹	38.8	Schyns e Hoekstra, (2014)
Algodão, soja, cacau, café, milho, arroz etc.	França	1996 – 2005	Verde, azul, cinza	Gm ³ ano ⁻¹	73,57	Ercin et al. (2013)
Trigo, arroz, milho, batata, soja, óleo de soja etc.	Global	1997 – 2001	Azul, verde	Km ³ ano ⁻¹	980,7	Yang et al. (2006)
Milho, trigo, algodão etc.	China	1978 – 2012	Verde, azul, cinza	Mm ³ ano ⁻¹	1.258,97	Xu et al. (2015)
Milho, soja, trigo etc.	China	2009	Verde, azul, cinza	Gm ³	237	Huang et al. (2012)
Milho, tomate, arroz, soja, cana-de-açúcar etc.	Global	1996 – 2005	Verde, azul, cinza	Gm ³ ano ⁻¹	7.357	Mekonnen e Hoekstra, (2014)
Arroz	Global	2000 - 2004	Verde, azul, cinza	Gm ³ ano ⁻¹	709,3	Chapagain e Hoekstra, (2011)
Trigo	Global	1996 - 2005	Verde, azul, cinza	Gm ³ ano ⁻¹	65	Mekonnen e Hoekstra, (2010)
Trigo, arroz, milho, soja e tomate	China	1998 – 2010	Verde, azul	Gm ³	689,04	Cao et al. (2015)
Arroz, milho, soja, óleo de palma, babana café, cana-de-açúcar etc.	Indonésia	2000 – 2004	Verde, azul, cinza	m ³ cap ⁻¹ ano ⁻¹	1131	Bulsink et al. (2010)
Arroz	Coreia do Sul	2004 – 2009	Verde, azul, cinza	Mm ³ ton ⁻¹	5.712,08	Yoo et al. (2013)
Tomate	Grã-Bretanha	1981 – 2010	Azul	m ³ t ⁻¹	11	Hess et al. (2015)

2.4. Discussão

Desafios na aplicação da metodologia

A metodologia da pegada hídrica vem sendo aprimorada e testada em diversos setores e produtos, ao analisar a sustentabilidade no processo produtivo, como se observa em trabalhos recentes de Hoekstra, (2016), Palhares e Pezzopane, (2015), Aivazidou et al (2017), Nandan et al. (2017). Todavia, para afirmar que um determinado processo é sustentável, faz-se necessário obter ao máximo informações ambientais, sociais e econômicas para comparar essas possíveis distorções quanto ao uso da água. Observa-se pouca preocupação dos governantes na região, quanto ao uso eficiente dos recursos hídricos, no qual, levam-se em consideração apenas indicadores econômicos como o PIB (Produto Interno Bruto) e Lucro. A Espanha se tornou referência quando adotou a metodologia da PH como princípio norteador de política pública vinculada ao plano de gestão hídrica (Aldaya et al., 2010).

Nos últimos anos, ampliam-se a consciência sobre as avaliações ambientais, sociais e econômicas, de acordo com uma visão sistêmica. Tratando-se do gerenciamento dos recursos hídricos, a abordagem integrada se apresenta como “gestão integrada dos recursos hídricos” (GIRH), quando específica para uma bacia, apresenta-se como “gestão integrada de bacias hidrográficas” (GIBH) e (INBO, 2009). Qual seria gestão hídrica ideal? Os conceitos de GIRH e GIBH são bem amplos que remontam qual seria o melhor plano de gestão e de como implementar este plano. Bem, as avaliações de pegada hídrica, não substituem a GIRH e a GIBH, todavia pode contribuir para a tomada de decisões estratégicas no contexto do gerenciamento de recursos hídricos.

Os desafios na aplicação da metodologia estão basicamente atrelados a falta de dados, em muitas situações o desenvolvimento de diretrizes mais detalhadas, prejudicam nas avaliações das áreas de estudo, haja vista, que se faz necessários tomar como referências pesquisas realizadas em outras regiões. Portanto, é importante a manutenção e expansão das áreas de atuação dos órgãos oficiais de monitoramento, bem como a melhoria da transparência dos dados coletados e a criação de um banco dados com estimativas de referência de PH, incluindo diversos processos e produtos, locais, regionais e globais. As variáveis ambientais, sociais, econômicas, institucionais, culturais e

políticas devem estar sempre combinadas para que se consiga avaliar a sustentabilidade da pegada hídrica, objeto norteador para que se alcance um desenvolvimento sustentável.

No contexto de avaliação da pegada hídrica cinza, o maior desafio está na formulação de diretrizes para a definição dos valores de concentração natural e concentrações máximas permitidas para que mantenha a qualidade de água a níveis aceitáveis. Ressalta-se que no Brasil o CONAMA 357/05 estabelece as diretrizes ambientais que fornece as concentrações máximas permitidas. Porém, esses dados deveriam ser específicos para cada bacia hidrográfica, bem como, contemplar concentrações diárias ou médias mensais da substância química.

O uso do sensoriamento remoto para estimar a pegada hídrica verde e azul na agricultura, apresenta-se como uma forte estratégia de expansão do indicador em lugares remotos e de difícil acesso, como executado por Ayala et al. (2016), onde se obtiveram avaliações de diferentes cenários, utilizando imagens de satélites em alta resolução espacial e temporal.

O agronegócio deve estar alicerçado no equilíbrio econômico do Brasil, bem como, do provimento de alimentos para a população, de forma ecoeficiente. Portanto é importante reconhecer que a redução da pegada hídrica dos processos, produtos e da humanidade faz parte de um contexto muito mais amplo, do que outros desafios, como a falta de emprego, níveis de pobreza, entre outros.

2.5. Conclusões

Nota-se a partir do levantamento bibliográfico que existe um maior número de pesquisas relacionadas à pegada hídrica verde, esse fato pode ser explicado pela maior disponibilidade dos dados meteorológicos que subsidiam a obtenção das estimativas de taxas evapotranspiratórias e rendimento das culturas. As avaliações das pegadas hídricas dos consumidores ou produtores é importante, pois em muitas vezes a população desconhecem os detalhes relevantes da produção e da cadeia de suprimento dos produtos comprados.

2.6. Agradecimentos

Nossos agradecimentos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa que subsidiou a consolidação dessa pesquisa, bem como para Embrapa Amazônia Oriental no âmbito de Projetos como o ROBIN e o Projeto BASA que viabilizaram os trabalhos de campo e acesso ao volume de dados utilizados nessa pesquisa.

2.7. Referências

ALDAYA, M.M., GARRIDO, A., LLAMAS, M.R., VARELO-ORTEGA, C., NOVO, P., CASADO, R.R. Water footprint and virtual water trade in Spain. *Water policy in Spain*, p. 49-59. 2010.

AIVAZIDOU, E., TSOLAKIS, N., VLACHOS, D. P., LAKOVOU, E. Water Footprint Mitigation Strategies for Agrifood Products: The Application of System Dynamics in Green Marketing. *Springer Proceedings in Business and Economics*, 2017, p. 275 – 281.

ALLAN, J. A. Virtual water: A strategic resource global solutions to regional deficits. *Ground Water*, v.36, p.545-546, 1998.

AYALA, L. M., EUPEN, M. V., ZHANG, G., PÉREZ-SOBA, M., MARTORANO, L. G., LISBOA, L. S., BELTRÃO, N. E. Impact of agricultural expansion on water footprint in the Amazon under climate change scenarios. *Science of the Total Environment*, p 1159 – 1173. 2016.

BLENINGER T., KOTSUKA, L. K. Conceitos de água virtual e pegada hídrica: estudo de caso da soja e óleo de soja no Brasil. *Revista Recursos Hídricos*, v. 36 p. 15-24, 2015. doi: 10.5894/rh36n1-2.

BULSINK, F., HOEKSTRA, A.Y., BOOIJ, M.J. The water footprint of Indonesian provinces related to the consumption of crop products. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.* 6 (4), 5115–5137. 2010.

CAO, X., WANG, Y., WU, P., ZHAO, X., WANG, J. An evaluation of the water utilization and grain production of irrigated and rain-fed croplands in China. *Sci. Total Environ.* 529, 10–20. 2015.

CHAPAGAIN A.K., HOEKSTRA A.Y. Water footprints of nations. *Value of Water Research Report Series No. 16*, UNESCO-IHE, Delft, The Netherlands, <http://www.waterfootprint.org/Reports/Report16.pdf>. 2004.

CHAPAGAIN, A. K., HOEKSTRA A. Y. The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives, *Ecol. Econ.*, v, 70(4), 749–758. 2011.

CHAPAGAIN, A. K., HOEKSTRA, A.Y., 2003. Virtual water trade. Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products. *International Expert Meeting on Virtual Water Trade* 13(11), pp. 1–202.

CHAPAGAIN, A.K., HOEKSTRA, A.Y. The global component of freshwater demand and supply: an assessment of virtual water flows between nations as a result of trade in

CHOUCHANE, H., HOEKSTRA, A.Y., KROL, M.S., MEKONNEN, M.M. The water footprint of Tunisia from an economic perspective. *Ecol. Indic.* 52, 311–319. 2015.

CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. Acessado em outubro de 2016. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>

COSTA, D. C., MARTORANO, L. G., MARQUES, M. C., EL-HUSNY, J. C., NACIF, A. Pegada hídrica como indicador de sustentabilidade em polo de grãos na Amazônia. *Enciclopédia Biosfera*, v. 13, p. 920-929, 2016.

DA SILVA, V. P. R., ALBUQUERQUE, M. F., ARAÚJO, L. E., CAMPOS, J. H. B. C., GARCÊZ, S. L. A., ALMEIDA, R. S. R. Medições de modelagem da pegada hídrica da cana-de-açúcar cultivada no Estado da Paraíba. *R. Bras. de Eng. Agri.* v 19, p. 521 – 526. 2015.

ERCIN, A.E., MEKONNEN, M.M., HOEKSTRA, A.Y. Sustainability of national consumption from a water resources perspective: the case study for France. *Ecol. Econ.* 88, 133–147. 2013.

European Water Partnership (EWP). European water stewardship. <http://www.ewp.eu/activities/water-stewardship/>, 2012. [accessed on 17.03.2016.].

GALLI, A., WIEDMAN N, T., ERCIN, A., KNOBLAUCH, D., EWING, B. AND GILJU M, S., 2012. Integrating Ecological, Carbon, and Water Footprint into a "Footprint Family" of Indicators: Definition and Role in Tracking Human Pressure on the Planet. *Ecological Indicators*, 16, 100-112.

GARRIDO, A., LLAMAS, M.R., VARELA-ORTEGA, C., NOVO, P., RODRÍGUEZ-CASADO, R., ALDAYA, M.M. *Water footprint and virtual water trade in Spain*, Springer, New York, US. 2010

HESS, T.M., LENNARD, A.T., DACCACHE, A. Comparing local and global water agricultural and industrial products. *Water Int.* 33 (1), 19–32. 2008

HOEKSTRA, A.Y. A critique on the water-scarcity weighted water footprint in LCA. *Ecological Indicators*, v 66, p 564 – 573. 2016.

HOEKSTRA, A.Y., CHAPAGAIN, A. K., ALDAYA, M. M., MEKONNEN, M. M. The Water Footprint Assessment Manual—Setting the Global Standard, Earthscan. *London, UK*, 2011.

HOEKSTRA, A.Y., CHAPAGAIN, A. K., ALDAYA, M. M., MEKONNEN, M. M. Water Footprint Manual: State of the Art 2009, Water Footprint Network. Enschede, the Netherlands, 2009.

HOEKSTRA, A.Y., 2003 (ed) ‘Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade’, Value of Water Research Report Series No. 12, UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft, the Netherlands.

HOEKSTRA, A.Y., CHAPAGAIN, A.K., 2008. Globalization of Water. Sharing the Planet's Freshwater Resources. Blackwell Publishing, Oxford, UK.

HOEKSTRA, A.Y., HUNG, P.Q. Virtual Water Trade. A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. Value of Water: Research Report Series n.11, September, IHE, 120p, 2002.

HOEKSTRA, A.Y., WIEDMANN, T.O. Humanity's unsustainable environmental footprint. *Science*, 344(6188): 1114-1117, 2014a.

HUANG, J., ZHANG, H., TONG, W., CHEN, F. The impact of local crops consumption on the water resources in Beijing. *J. Clean. Prod.* 21 (1), 45–50. 2012.
in Great Britain. *J. Clean. Prod.* 87, 666–674. 2015.

INBO (International Network of Basin Organizations. A Handbook for Integrated Water Resources Management in Basins, GWP, Stockholm, and INBO, Paris Japanese Ministry of the Environment (2010) ‘Environmental quality standards for water pollution’, Ministry of the Environment, Government of Japan, www.env.go.jp/en/water. 2009.

LOVARELLI, D., BACENETTI, J., FIALA, M. Water Footprint of crop productions: A review. *Science of the Total Environment*, p. 236 – 251. 2016.

MEKONNEN, M., PAHLOW, M., ALDAYA, M., ZARATE, E., HOEKSTRA, A.Y. Sustainability, efficiency and equitability of water consumption and pollution in Latin America and the Caribbean. *Sustainability* 7 (2), 2086–2112. 2015

MEKONNEN, M.M., HOEKSTRA, A.Y. A global and high-resolution assessment of the green, blue and grey water footprint of wheat. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 14 (7), 1259–1276. 2010.

MEKONNEN, M.M., HOEKSTRA, A.Y. Water footprint benchmarks for crop production: A first global assessment. *Ecological Indicators*, 46, 214-223, 2014.

NANDAN, A., YADAV, B. P., BAKSI, S., BOSE, D. Assessment of Water Footprint in Paper & Pulp Industry & its Impact on Sustainability. *World Scientific News*, v. 64. P. 84 – 98. 2017.

ORTIZ-RODRIGUEZ, O. O., NARANJO, C. A., GARCÍA-CACERES, R.G., VILLAMIZAR-GALLARDO, R. A. Water footprint assessment of the Colombian cocoa production, v 19. p 823 – 828. 2015.

PALHARES, J. C. P., PEZZOPANE, J. R. M. Water footprint accounting and scarcity indicators of conventional and organic dairy production systems. *Journal of Cleaner Production*, v 93, p. 299 – 307. 2015

SAGRI – Secretaria de Estado da Agricultura. Dados agropecuários. Acessado em: outubro de 2012. Disponível em: < <http://www.sedap.pa.gov.br/agricultura.php>> scarcity information in determining the water scarcity footprint of potato cultivation

SCHYNS, J.F., HOEKSTRA, A.Y. The added value of Water Footprint Assessment for national water policy: a case study for Morocco. *PLoS One* 9 (6). 2014.

UNITED NATIONS. Department of Economic and Social Affairs/Population Division World Population Prospects: The 2015 Revision, Key Findings and Advance Tables. Working Paper No. ESA/P/WP.241. 2015. 66p.

UNITED NATIONS. Educational, scientific and cultural organization: Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos. WWAP. 2016. 12p.

XU, Y., HUANG, K., YU, Y. WANG, X. Changes in water footprint of crop production in Beijing from 1978 to 2012: a logarithmic mean Divisia index decomposition analysis. *J. Clean. Prod.* 87, 180–187. 2015.

YANG, H., WANG, L., ABBASPOUR, K.C., ZEHNDER, A.J.B. Virtual water trade: an assessment of water use efficiency in the international food trade. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 10 (3), 443–454. 2006.

YOO, S.-H., CHOI, J.-Y., LEE, S.-H., KIM, T. Estimating water footprint of paddy rice in Korea. *Paddy Water Environ.* 12 (1), 43–54. 2013.

CAPÍTULO 3.

PEGADA HÍDRICA COMO INDICADOR DE SUSTENTABILIDADE EM POLO DE GRÃOS NA AMAZÔNIA

Douglas Cavalcante Costa¹, Lucieta Guerreiro Martorano², Marcelo Coelho Marques³, Jamil Char El-Husny⁴, Adelaide Nacif⁵

1 Mestrando em Agroecologia e Desenvolvimento Rural; Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), e-mail: eng.douglascavalcante@gmail.com.

2 Doutora em Agrometeorologia; Pesquisadora na Embrapa Amazônia Oriental

3 Engenheiro Ambiental; Universidade do Estado do Pará

4 Doutor em Ciências Agrárias; Pesquisador na Embrapa Amazônia Oriental

5 Mestre em Geografia; Coordenadora Regional de Defesa Civil (CORDEC)/ SUDAM

Recebido em: 08/04/2016 – Aprovado em: 30/05/2016 – Publicado em: 20/06/2016

DOI: 10.18677/Enciclopedia_Biosfera_2016_079

ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer – Goiânia, v.13 n. 23; p. 920 - 929

RESUMO

O Objetivo do trabalho foi avaliar a pegada hídrica das principais cultivares de soja como indicador de eficiência de uso da água em cultivos de grãos no município de Paragominas. Foi realizado trabalho de campo para acompanhar experimentos com soja visando obtenção de dados durante a safra agrícola 2013/2014. Considerou-se nas estimativas de pegada hídrica cinza o valor de 22 kg ha⁻¹ de nitrogênio, com base na literatura nacional. As cultivares de soja BRS Candeia; BRS Sambaíba; BRS Tracajá; BRS Seridó RCH; BRS Babaçu foram consideradas nas avaliações da pegada hídrica de acordo com o ciclo médio, disponível na literatura. Considerou-se os padrões limites de lançamento de fertilizante nitrogenado em corpos hídricos, adotando-se valores conforme a legislação nº 357/2005 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). Os resultados apontaram que a maior pegada hídrica foi na BRS Babaçu correspondendo a 1.306 m³ ton⁻¹ e a menor foi na BRS Candeia com 1.015 m³ ton⁻¹. Conclui-se que a pegada hídrica verde é um excelente indicador de eficiência de uso da água pela cultivar de soja utilizada em cada ano safra. Também, a quantidade de fertilizantes nitrogenados e o rendimento das cultivares são fatores determinantes na contabilidade de uso eficiente de água em polos grãos na Amazônia.

PALAVRAS-CHAVE: soja, fertilizantes nitrogenados, rendimento

WATER FOOTPRINT AS AN INDICATOR OF SUSTAINABILITY IN THE AMAZON GRAIN POLO

ABSTRACT

The study's goal was to evaluate the water footprint of all major soybean cultivars as use efficiency indicator of water in grain crops in the municipality of Paragominas. Fieldwork was conducted to monitor experiments with soy aiming at obtaining data for the 2013/2014 harvest. It was considered in the gray water footprint estimates the value of 22 kg ha⁻¹ of nitrogen, based on national literature. The soybean cultivars BRS Candeia; BRS Sambaíba; BRS Tracajá; BRS Seridó RCH; BRS Babaçu were considered in the evaluations of the water footprint according to the average cycle, available in the literature. It was considered the discharge limits patterns of nitrogen fertilizer in water bodies, adopting values according to the law No. 357/2005 of the National Council for the Environment (CONAMA). The results showed that the highest water footprint was in BRS Babaçu corresponding to 1,306 ton⁻¹ m³ and the smallest was in BRS Candeia with 1,015 m³ ton⁻¹. It follows that the green water footprint is an excellent indicator of efficiency of use of water the soybean cultivar used in each harvest year. Also, the amount of nitrogenous fertilizers and the yield of the cultivars are determining factors in accounting efficient use of water in grain poles in the Amazon.

KEYWORDS: soybeans, nitrogen fertilizers, yield.

3.1. INTRODUÇÃO

As ações que consideram aspectos sociais, econômicos e ambientais, apoiadas em políticas públicas propiciam elementos para avaliar indicadores de desenvolvimento sustentável em uma região. O conhecimento da capacidade de suporte aos impactos ambientais negativos por atividades antrópicas torna-se indispensável em avaliações de uso conservacionista (SILVA et al. 2013). Indicadores como a pegada hídrica (PH), a Pegada ecológica (PE) e a Pegada de carbono (PC) possuem metodologias capazes de subsidiar análises dos impactos ambientais gerados pelos padrões de consumo do planeta, que vão além da capacidade de suporte do Planeta (GALLI et al. 2012).

As pegadas hídrica e ecológica apesar de considerarem conceitos e métodos distintos, possuem aspectos convergentes quanto ao uso dos recursos naturais, pois estes devem suprir as necessidades humanas. A PE trata de contabilizar o uso do espaço (hectares), enquanto, a PH contabiliza o volume de água doce utilizado na cadeia produtiva. Assim, a PH é uma ferramenta de gestão e planejamento dos recursos hídricos, visto que, a água doce representa apenas 2,5% do volume total do planeta (GLEICK, 2000).

A metodologia proposta por HOEKSTRA et al. (2011), evidencia que a PH é um forte indicador de manutenção ecossistêmica que apresenta caráter multidimensional em volumes de consumo de água por fonte de uso, bem como contabiliza os volumes de poluição, pelo tipo de atividade. A pegada hídrica é

subdividida em Pegada Hídrica Verde (PHverde), Pegada Hídrica Cinza (PHcinza) e Pegada Hídrica Azul (PHazul). Assim, a PHverde considera o total de água precipitada que não escoou ou não repõe a água subterrânea, mas é armazenada no solo e utilizada pelas plantas, nos processos evapotranspiratórios. A PHcinza contabiliza o volume de água necessário para depurar efluentes. Na agricultura os produtos fitossanitários utilizados devem ser avaliados de modo que a qualidade da água se mantenha próxima ao seu estado natural, mantida acima de padrões mínimos de qualidade da água aceitáveis. Já a PHazul é um indicador do uso da chamada água azul, ou seja, a água doce superficial ou subterrânea que é utilizada em cultivos irrigados (HOEKSTRA & CHAPAGAIN, 2007). A PH quantifica o uso da água na cadeia produtiva, avaliando o processo de produção, desde as ações do produtor até o consumidor final. No contexto agrícola, na cadeia produtiva deve-se considerar na PHtotal, os somatórios das pegadas azul, verde e cinza.

No Brasil, segundo a Associação Brasileira de Saúde Coletiva (Abrasco), a cultura da soja ocupa o 1º lugar na classificação quanto ao uso de produtos fitossanitários. No Pará, a agricultura mais expressiva, principalmente em Paragominas tem como cultura principal a soja (*Glycine max*). No ano 2000 o polo de grãos totalizou uma área plantada de 1.640 hectares e em 2012 foram destinados 62.354 hectares ao cultivo de soja, contribuindo para a expansão da produção agrícola brasileira, que nesse período aumentou mais 70% (MEKONNEN et al., 2014). Com o aumento da sojicultura na região é necessário avaliar possíveis impactos ambientais negativos que podem surgir, principalmente quanto ao uso de fertilizantes utilizados nessas lavouras (COSTA et al., 2014). Portanto, a metodologia da PH surge como um importante indicador e planejamento do uso eficiente da água na cadeia produtiva da soja. Objetivou-se com este trabalho avaliar a pegada hídrica das principais cultivares de soja utilizadas no município de Paragominas para avaliar um indicador de eficiência de uso da água em cultivos de grãos no município.

3.2. MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O experimento de campo foi realizado na Fazenda Poderosa (Figura 1), localizada em Paragominas, nas coordenadas 47°18'46,15"W e 03°03'30,23"S, na mesorregião sudeste do Estado do Pará, distante a 21 km da sede do município. Nessa propriedade tem sido realizado experimentos da Embrapa Amazônia Oriental, desde os anos 80 (Século XX).

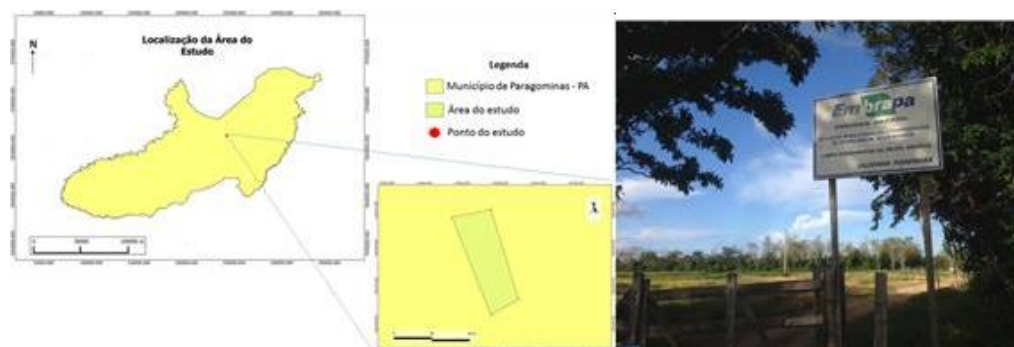


FIGURA 1 Área de estudo na fazenda Poderosa, Paragominas, Pará.

A fazenda contém uma área rural que totaliza 1.379,3 ha, composta de área destinada a reserva legal contendo 695,6 ha e de uso alternativo do solo com 913,9 ha. Os experimentos da Embrapa vão desde a Soja, Milho, Arroz, Girassol até experimentos de longa duração como o de Castanha do Brasil.

Dados das cultivares de soja

A tabela 1 apresenta os dados das cultivares, que foram utilizadas nas estimativas de PH verde e cinza em Paragominas, Pará.

TABELA 1 – Cultivares, ciclo e rendimento de soja em Paragominas, com base em dados disponibilizados por EL-HUSNY et al. (2006)

Cultivar	Ciclo (dias)	Rendimento (kg ha ⁻¹)
BRS Candeia	118	3.975
BRS Sambaíba	112	3.861
BRS Tracajá	111	3.841
BRS Seridó RCH	121	3.231
BRS Babaçu	126	3.378

Levantamento de dados climáticos

No ano de 2014 foram instalados instrumentos e sensores térmico-hídricos para avaliar quantidade de água precipitada e as condições térmicas e umidade relativa do ar na unidade experimental. Utilizou-se um pluviômetro *Ville de Paris* localizado nas coordenadas 03°03'08,4" S e 47°18'56,3" W e sensor automático (*Data loggers*), inserido em mini-abrigo agrometeorológico, localizado nas coordenadas 03°03'08,4" S e 47°18'56,3" W. Os sensores foram instalados quando a soja estava em pleno desenvolvimento vegetativo (22 de abril de 2014) e retirado após o final do ciclo da cultura (22 de junho de 2014) da cultivar que foi utilizada no experimento de campo, acompanhado durante as avaliações agrometeorológicas (Figura 2). Destaca-se que coletas de eventos pluviais foram realizadas todos os dias por volta de 9h:00 da manhã.



FIGURA 2: Equipamentos utilizados nas avaliações térmico hídricas em campo experimental

Para as estimativas da PH, foram utilizados dados de precipitação pluvial do ano 2014, considerando-se os dados monitorados a campo, coletados seguindo os padrões recomendados pela Organização Meteorológica Mundial (OMM). Foram instalados mini-abrigos agrometeorológicos utilizando sensores térmicos. Também foram utilizados dados meteorológicos (temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar), disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)

Pegada Hídrica Verde (PHverde)

Para o cálculo de evapotranspiração da cultura, utilizou-se o software CROPWAT 8.0 que foi desenvolvido pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2010). Os dados de coeficiente da cultura (K_c) foram os mesmos utilizados por ALLEN et al. (1998).

A PH verde foi estimada baseando-se na chuva efetiva (Tabela 2) e as variáveis de cada cultivar apontadas na tabela 1. Utilizou-se a metodologia de HOESKTRA et al. (2011), equação 1.

$$PH_{\text{verde}} = \frac{C_{\text{verde}}}{R} \quad (1)$$

Em que, PH_{verde} é a pegada hídrica verde da cultura ($\text{m}^3 \text{ton}^{-1}$); C_{verde} é o consumo de água verde da cultura ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$); e R é o rendimento da cultura (ton ha^{-1}).

O componente da C_{verde} foi estimado com base na evapotranspiração diária acumulada (ET , mm dia^{-1}) durante o ciclo completo de desenvolvimento da cultura, conforme Equação 2 e 3.

$$ET_{\text{verde}} = ETo \times Kc \quad (2)$$

$$C_{\text{verde}} = 10 \times \sum_{d=1}^{pdc} ET_{\text{verde}} \quad (3)$$

Em que, ET_{verde} é a evapotranspiração da cultura, considerando apenas a oferta pluvial, sendo considerado por HOEKSTRA et al. (2011) como água verde. O fator 10 refere-se a conversão da unidade de ET verde em milímetros para volumes de água por superfície terrestre, em $m^3 \text{ ha}^{-1}$. O somatório considera desde o dia de semeadura ($d=1$) até a colheita e pdc corresponde a duração do período de desenvolvimento da cultivar, adotada neste artigo o ciclo de cada cultivar.

TABELA 2 - Total de chuva e chuva efetiva no ano de 2014 em Paragominas, Pará.

2014		
Meses	Chuva	Chuva Efetiva
Janeiro	280,8	200,6
Fevereiro	309,4	223,5
Março	256,1	180,9
Abril	360,1	264,1
Maio	251,5	177,2
Junho	86,6	45,3
Julho	32,7	9,6
Agosto	18,2	0,9
Setembro	16,4	0
Outubro	28,1	6,9
Novembro	40,4	14,2
Dezembro	113,7	67
Total	1794	1190,2

Pegada Hídrica Cinza (PH_{cinza})

A estimativa da PH cinza foi realizada com base em fertilizante nitrogenado, empregado no processo de adubação de culturas, considerado como fonte difusa de poluição. Utilizou-se a metodologia de HOEKSTRA et al. (2011), equação 4.

$$PH_{\text{cinza}} = \frac{(\alpha \times TAQ) / (C_{\text{máx}} - C_{\text{nat}})}{Prtv} \quad (4)$$

em que, α é a fração de lixiviação do fertilizante, TAQ é a taxa de aplicação por hectare do composto em campo ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), $C_{\text{máx}}$ é a concentração máxima aceitável e a C_{nat} é a concentração natural do poluente no corpo hídrico.

Parâmetros do fertilizante nitrogenado

Neste trabalho atribuiu-se o valor de 10% para a fração de lixiviação, recomendado por HOEKSTRA et al. (2011). O valor limite aceitável dos fertilizantes nitrogenados seguiu o padrão da legislação CONAMA 357/2005, classe 3 para águas doces que é de 10 mgL^{-1} . Atribuiu-se o valor 0 (zero) para a concentração natural do nitrogênio no corpo hídrico, pois nesse estudo não houve avaliações, análise e espacialização de corpos hídricos ao entorno das áreas agrícolas. O dado de aplicação de nitrogênio para soja de alta produtividade foi a recomendada por LAMOND & WESLEY (2001), que é de 22 kg ha^{-1} .

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O regime pluvial de Paragominas é possível observar na figura 3, em que os meses mais chuvosos concentram-se no período de janeiro a maio com chuvas variando entre 200 a 400 mm, indicando a alta oferta hídrica pela atmosfera durante o ciclo dos cultivos de grãos no município.

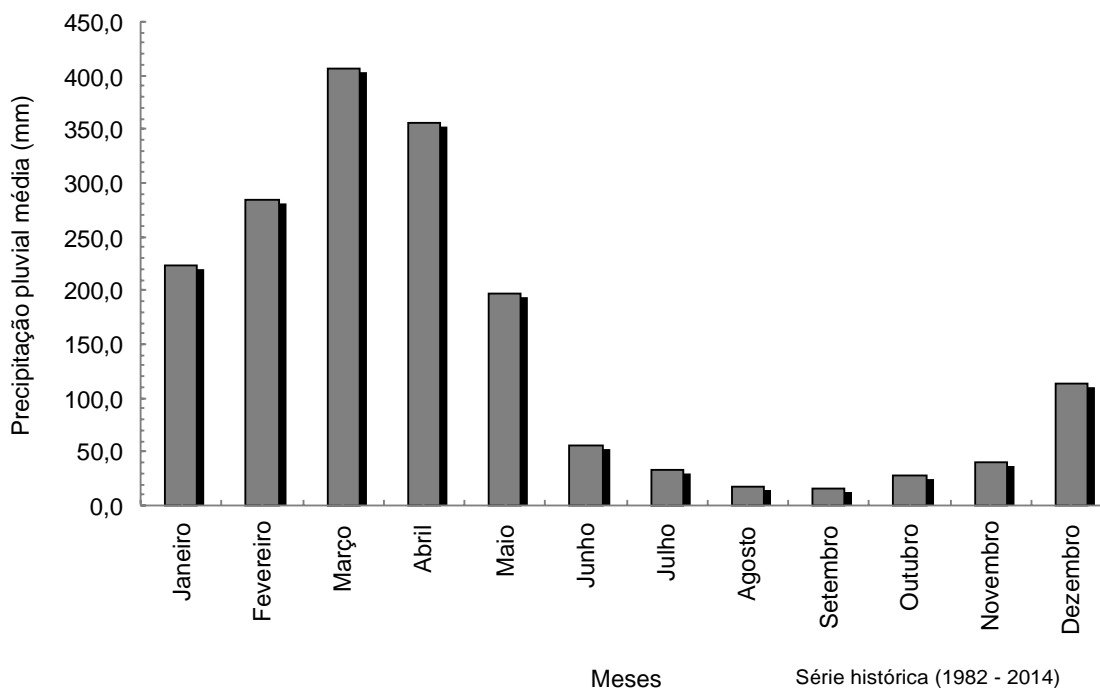


FIGURA 3: Precipitação pluviométrica média mensal no campo experimental, Paragominas, Pará.

Pegada hídrica

Quando analisados os valores de PH, observa-se a BRS Seridó RCH como a cultivar que mais necessita de água para o seu desenvolvimento ($1.327 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) e com o menor rendimento de grãos ($3,2 \text{ ton ha}^{-1}$), no ano safra avaliado por EL-HUSNY et al. (2006). A BRS Candeia foi a cultivar que se destacou

quanto a necessidade hídrica e rendimento de grãos, com $1.015 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e 4 ton ha^{-1} , respectivamente.

Os valores de PH verde correspondem cerca de 90% da PH total das cultivares, pois, o sistema de produção sojicultor pouco utiliza fertilizantes artificiais como o NPK, conseqüentemente terá valores de PH cinza reduzidos.

Comparando o resultado encontrado da PH da cultura da soja com os da literatura, temos: na região de Maringá com $2.210 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$ no estudo de BLENINGER & KOTSUKA, (2015); $2.785 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$ por ERCIN & HOEKSTRA (2012), $2.572,2 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$ por ARENA et al. (2011), $1.385 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$ por HOEKSTRA & MEKONNEN, (2011) e $1.958 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$ por HOEKSTRA & CHAPAGAIN (2007).

Nota-se que os valores encontrados de PH no polo de grãos de Paragominas são condizentes com os da literatura. Ressalta-se que as diferenças de valores PH são justificadas pelas variáveis de solo, clima, manejo agrícola e genética da planta de cada área avaliada.

Na figura 3 nota-se que os valores de PH cinza variam entre 55 a $67 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$, indicando a menor pegada cinza para a BRS CANDEIA. Em relação a Pegada Hídrica verde os valores variaram entre 960 a $1.239 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$, evidenciando as maiores eficiências de uso das águas pluviais em 2014 seriam também pelo cultivar BRS CANDEIA, as quais refletiram nos valores de pegada hídrica total. Assim sendo, as diferentes cultivares testadas por EL-HUSNY et al. (2006) em Paragominas que também foram utilizadas no ano safra 2013/2014 deixam pegadas entre 1015 a $1.306 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$. Vale ressaltar que as estimativas de pegada verde se referem ao total de água utilizada pelas cultivares para completar seu ciclo em 2014.

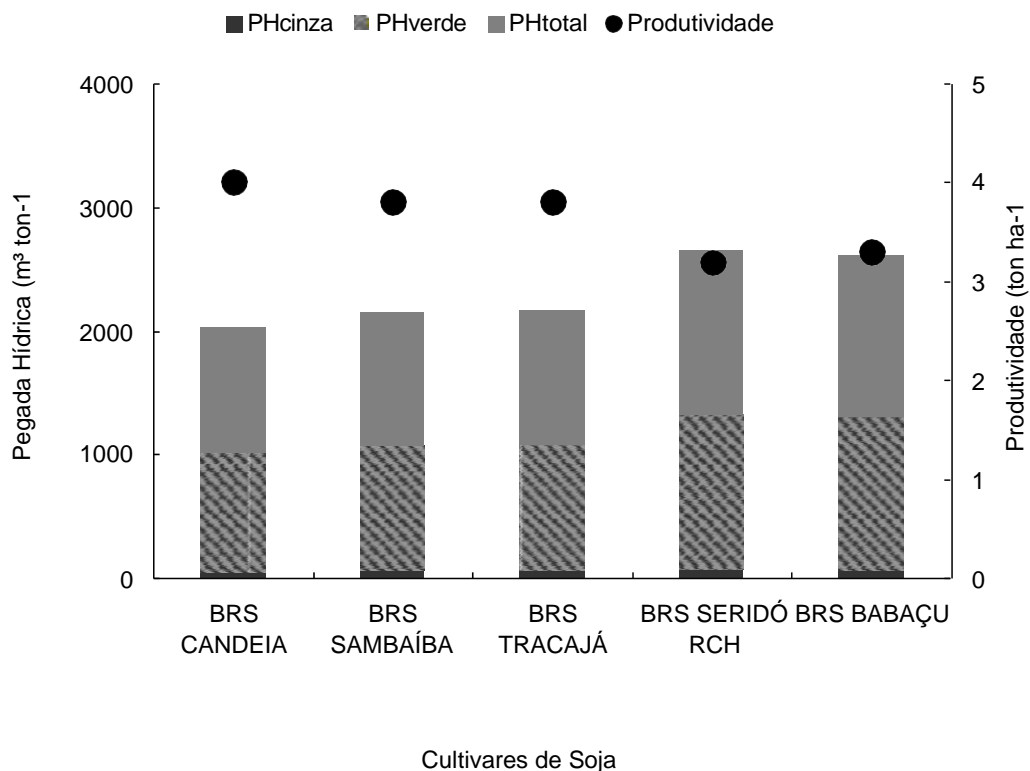


FIGURA 4: Estimativa da PH verde, cinza e total para as cultivares de soja.
Fonte: Dados disponíveis em EL-HUSNY et al. (2006)

Também, é importante salientar que o sistema de manejo do solo pode influenciar em cultivos não irrigados como, por exemplo em sistema com plantio direto que promove maiores estoques de água no solo em períodos com reduzida oferta pluvial, ao comparar com o sistema em preparo convencional (MARTORANO et al., 2009), indicando que outros fatores devem ser considerados nas avaliações de pegada hídrica.

Neste sentido, indicadores de sustentabilidade em sistemas de produção na Amazônia como a PH devem ser utilizados nas contabilidades de uso da água em sistemas de produção agrícola. A PH da soja fornece dados capazes subsidiar análises quanto aos avanços tecnológicos, sistema de manejo do solo e da água, como o plantio direto, integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF), uso de inoculantes em sementes de soja, doses de produtos fitossanitários e uso de tecnologia de alta eficiência de reposição hídrica. Assim, a pegada hídrica auxilia nas avaliações quanto ao uso eficiente da oferta de água na avaliação de indicadores de sustentabilidade no setor produtivo de grãos na Amazônia.

Estratégias em sistemas de produção agrícola podem reduzir a PH da soja na Amazônia, tais como: otimizar épocas de semeadura em períodos com maior oferta hídrica nos polos de produção; adoção de sistemas de manejo do solo que garantam a manutenção da água para atender as demandas hídricas para expressar altos rendimento e baixa pegada hídrica da cultura; maior controle e fiscalização da entrada de novas moléculas de agroquímicos na Amazônia, com certificação da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), em conformidade com as legislações do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA); garantia de outorga de água para uso na agricultura; compartilhar conhecimentos regionais quanto a coeficientes genéticos, índices de colheita e testes de novas cultivares; e adoção de uma legislação específica voltada para o uso conservacionista da água capaz de garantir as demandas de consumo das gerações futuras na Amazônia.

3.4. CONCLUSÃO

- A pegada hídrica verde é um excelente indicador de eficiência de uso da água pela cultivar de soja utilizada em cada ano safra;
- A decisão na aplicação de fertilizantes nitrogenados influenciará na pegada hídrica cinza em sistemas produtivos de grãos na região;
- O rendimento de grãos em cultivos não irrigados na Amazônia é um ótimo aferidor nas avaliações de volume de água necessário para expressar as toneladas de soja colhidas em polos grãos;
- No ano safra 2013/2014 as menores pegadas hídricas verdes foram em cultivares de soja com rendimentos semelhantes as da BRS Candeia.

3.5. AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à Embrapa Amazônia Oriental, principalmente ao Núcleo de Apoio à Pesquisa e Transferência de Tecnologia da Belém Brasília (NAPT Paragominas) pela autorização na condução do experimento de campo.

3.6. REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. 'Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements', **FAO irrigation and Drainage Paper 56**, Food and Agriculture Organization, Rome, 1998.

ARENA, A. P.; PIASTRELLINI, R.; e CIVIT, B. Water Footprint of soybean production in Argentina. **Life Cycle Management Conference**, Berlim, Alemanha, 2011.

BLENINGER, T.; KOTSUKA, L. K. Conceitos de água virtual e Pegada Hídrica: Estudo de caso da soja e óleo de soja no Brasil. **Revista Recursos Hídricos**, Vol. 36, Nº 1, 15-24, 2015. Disponível em 10.5894/rh36n1-2

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. 2005. **Resolução Conama nº 357**. Disponível em:< www.mma.conama.gov.br/conama> Acesso em: 08 abril 2014.

COSTA, D. C.; MARTORANO, L. G. ; MARQUES, M. C. ; LISBOA, L. S. ; BARBOSA, P. S. P. ; BARBOSA, A. M. S. . Estimativa da Pegada Hídrica Cinza no controle da Lagarta-da-soja (*Anticarsia gemmatalis*), no polo de produção de grãos Paragominas, Pará. In: **XVIII Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Recife, 2014

SILVA, V. P.R.; ALEIXO, D.O.; NETO, J.D.; MARACAJÁ, K.F.B.; DE ARAÚJO, L.E. Uma medida de sustentabilidade ambiental: Pegada Hídrica. **Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. V.17, n.1, p. 100-105, 2013. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013000100014>.

EL-HUSNY, J.C.; SILVEIRA FILHO, A.; ANDRADE, E.B.; CARVALHO, E.J; M.; BENCHIMOL, R. L.; VELOSO, C.A.C.V.; CORREA, J.R.V.; SOUZA, F.R.S.; Soja BRS Candeia: comportamento e recomendação para plantio nas microrregiões de Paragominas e Santarém. Embrapa Amazônia Oriental, **Comunicado Técnico**, 5p 182. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2006.

ERCIN, A. E.; HOEKSTRA, A. Y.; Carbon and Water Footprints: Concepts, methodologies and policy responses. Unitec Nations World Water Assesnent Programme, **Side Publications Series n.4**, UNESCO, Paris. 2012.

FAO. 'CROPWAT 8.0 Model'. FAO, Rome, www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html, 2010

GALLI, A.; WIEDMANN, T.; ERCIN, E.; KNOBLAUCH, D.; EWING, B.; GILJUM, S. Integrating Ecological, Carbon and Water footprint into a “Footprint Family” of indicators: Definition and role in tracking human pressure on the planet. **Ecological Indicators**, v.16, p.100-112, 2012. Disponível em 10.1016/j.ecolind.2011.06.017

GLEICK, P. H. The changing water paradigm: A look attwenty-first century water resources development. **Water International**, v.25, p.127-138, 2000. Disponível em <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02508060008686804>

HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K. Water Footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. **Water Resources Management** 21 (1), p. 35–48, 2007. Disponível em 10.1007/s11269-006-9039-x

HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K.; ALDAYA, M. M.; MEKONNEN, M. M. **Water Footprint Manual**: Water Footprint Network, Enschede, the Netherlands.London: Earthscan; 2011.

HOEKSTRA, A. Y.; MEKONNEN, M. M. **The water footprint of humanity**. **Department of Water Engineering and Management**, University of Twente, P.O. Box 217, 7500 AE Enschede, The Netherlands. 2011. Disponível em 10.1073/pnas.1109936109

LAMOND, R.E.; WESLEY, T.L. **Adubação nitrogenada no momento certo para soja de alta produtividade**. Better crops with plant food, Atlanta, n. 2, p. 6-7, 2001.

MARTORANO, L. G.; BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; FARIA R. T.; MIELNICZUK, J.; COMIRAN, F. Indicadores da condição hídrica do solo com soja em plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 397–405, 2009. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662009000400005>

MEKONNEN, M. M.; PAHLOW, M.; ALDAYA, M. M.; HOEKSTRA, A.Y. Water Footprint Assessment for Latin America and the Caribbean: an analysis of the sustainability, efficiency and equitability of water consumption and pollution. **Research Report Series No. 66**. UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands 2014.

CAPÍTULO 4.

Dinâmica temporal da pegada hídrica por cultivar de soja em polo de grãos no Oeste do Pará, Amazônia

Douglas C. Costa*; Lucieta Guerreiro Martorano; José Reinaldo da Silva Cabral de Moraes; Leila Sheila Silva Lisboa; Rubismar Stolf

Universidade Federal de São Carlos – Araras, SP

Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural,

* Autor correspondente: e-mail: eng.douglascavalcante@gmail.com, lucieta.martorano@embrapa.br, reinaldojmoraes@gmail.com, leilasheila@gmail.com, rubismar@cca.ufscar.br

RESUMO

O objetivo neste trabalho foi analisar a dinâmica temporal da pegada hídrica de oito cultivares de soja, plantadas na região do oeste do Pará. Foram utilizados dados meteorológicos correspondentes ao período de 2009 a 2014 para calcular as taxas evapotranspiratórias da cultura. Como a Pegada Hídrica é subdividida em verde, azul e cinza e, na região os cultivos não são irrigados contabilizou-se apenas a verde e a cinza. A PH_{verde} foi estimada considerando-se o total de água consumida durante o ciclo de cada cultivar. A PH_{cinza} foi avaliada utilizando como fator contaminante em corpos hídricos o composto nitrato que está presente nos fertilizantes nitrogenados, conforme as concentrações aceitáveis pelo CONAMA 357/2005. Considerou-se dois valores para as doses de N, sendo 30 kg ha^{-1} com base nos valores de adubação testados na literatura, bem como o N existente nas formulações (2:20:20) dos adubos vendidos na região, sendo 2 kg ha^{-1} o máximo utilizado na adubação de cobertura. Entre as oito cultivares analisadas a que apresentou a menor pegada hídrica foi a C_1 (BRS 278RR), evidenciando o uso eficiente da água disponível em todos os anos/safras analisados. A Pegada Hídrica total apresentada neste trabalho reforça a importância da metodologia nas estimativas de uso consuntivo de água em polos de grãos. A soja produzida no Oeste do Pará possui baixa pegada hídrica cinza, mas as cultivares necessitam ser altamente produtivas para reduzir a pegada hídrica verde pela sojicultura na região. Esse indicador (PH) auxilia no planejamento estratégico de gestão dos recursos hídricos em áreas produtoras de grãos na Amazônia.

Palavras-chave: Nitrato, Santarém, uso consuntivo de água.

Temporal dynamics of the water footprint by soybean hub grains in Western Pará, Amazon.

ABSTRACT

This study aimed to analyze the time dynamics of the water footprint of eight soybean cultivars planted in the region. Meteorological data between 2009 and 2014 were used to calculate the crop's evapotranspiration rates. Since the water footprint is subdivided into

green, blue, and grey and the crops are not irrigated in the region, only the green and grey footprints were used. WFgreen was estimated considering the total amount of water consumed during the cycle of each cultivar. WFgrey was assessed using as contaminating factor in water bodies the nitrate present in nitrogen fertilizers according to the concentrations accepted by CONAMA 357/2005. Two N dose values were considered, i.e., 30 kg ha⁻¹ based on fertilizer values tested in the literature and the N present in the formulations (2:20:20) of the fertilizers sold in the region, while the maximum used in top dressing is 2 kg ha⁻¹. Among the eight cultivars analyzed, C1 had the smallest water footprint, which shows the efficient use of the water available in every year/harvest analyzed. The total water footprint presented in this study highlights the importance of the methodology to estimate the consumptive use of water in grain production centers. The soybean produced in western Pará has a small grey water footprint, but the cultivars must be highly productive to reduce the green water footprint of soy farming in the region. The water footprint helps the strategic planning of the management of water resources in grain production areas in the Amazon.

Keywords: Consumptive use of water, nitrate, Santarém,

4.1. INTRODUÇÃO

A quantidade de água para suprir as necessidades das populações, bem como para atender as demandas do sistema solo-planta-atmosfera são intensificadas em áreas que estão em processo de desenvolvimento, como por exemplo na Amazônia, no polo de grãos do Oeste do Pará.

O polo de grãos atualmente é composto pelos municípios de Santarém, Belterra e Mojuí dos Campos. Essa região ocupa desde o período colonial, posição estratégica na conjuntura econômica do País, associado a diversos ciclos econômicos que motivaram distintas ondas imigratórias de origem nacional e internacional, o que caracterizou a diversidade da composição populacional da região. No final da década de 1990, com a estruturação do terminal graneleiro, a região abriu novas frentes para a exportação de grãos, estimulando a imigração de agricultores, principalmente do estado Sul do Brasil, dispostos a investir na região. A soja tem se destacado no cenário econômico da região, com cerca de 41 mil hectares plantados (SAGRI, 2016).

A pegada hídrica (PH) contabiliza o uso consuntivo de água sendo um forte indicador de desempenho ambiental, principalmente relacionados ao setor agropecuário. Estima-se que em 2050 haverá um aumento de 55% da demanda hídrica mundial, cerca 2,3 bilhões de pessoas poderão estar vivendo em áreas com elevada restrição hídrica, principalmente na África e Ásia Central (UNESCO, 2016).

A acelerada degradação da qualidade das águas, o aumento da demanda por produtos agrícolas de uso alimentar e não-alimentar, bem como as mudanças nos padrões de consumo por carne e açúcar tem contribuído significativamente para a escassez e poluição das águas (Lamastra et al., 2014), reforçando a necessidade de aumento da eficiência e eficácia quanto ao “uso inteligente” dos recursos hídricos.

No Brasil, estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) indicaram que no início do século XX a população brasileira era de 17 milhões de habitantes, projetando-se para 2020 valores que podem chegar a 219 milhões de habitantes, no País. O *Department of Economic and Social Affairs of the United Nations*

Secretariat (DESA) fez projeções que a população brasileira deverá atingir 238 milhões de habitantes em 2050, o que pode intensificar a disputa por melhores classes de solos, condições climáticas, água, alimentos e insumos agrícolas (UNESCO, 2015). Portanto, nesse cenário, a humanidade poderá presenciar crises em oferta de alimentos e potabilidade da água, aumentando o risco de escassez hídrica (Ercin e Hoekstra, 2014).

Entre as variáveis climáticas, a oferta hídrica apresenta-se como fator limitante à obtenção de rendimentos máximos em safras agrícolas. A soja (*Glycine max*), de acordo com Farias et al. (2007), nos períodos de germinação-emergência e floração-enchimento de grãos a evapotranspiração real diária é da ordem de 7 a 8 mm.dia⁻¹, ou seja, nos períodos vegetativos e reprodutivos a soja pode utilizar entre 450 a 800 mm de água nos processos evapotranspiratórios até completar o seu ciclo. A disponibilidade de água no solo é fator condicionante ao atendimento pela planta da demanda hídrica da atmosfera. Em períodos de escassez de água no solo os sojicultores podem adotar estratégias de reposição hídrica usando técnicas de irrigação, pois a produção de alimentos deverá suprir as necessidades da população em crescimento no globo terrestre, o que pode refletir na elevação da competitividade por água doce.

A utilização de indicadores de sustentabilidade tem demonstrado que os padrões de consumo da humanidade tendem a elevar as demandas por recursos naturais e reduzir a capacidade resiliência do planeta. Para contabilizar os diferentes usos da água, utilizam-se indicadores de desempenho do uso eficiente da água, como por exemplo a Pegada Hídrica (PH). A metodologia da Pegada Hídrica apresenta-se como um forte indicador de manutenção de serviços ecossistêmicos em provisão, regulação e suporte hídrico às populações. A PH é subdivida em: azul, verde e cinza (Hoekstra et al., 2011), sendo que a Pegada Hídrica Azul (PH_{azul}) indica o uso consuntivo da água doce ou subterrânea disponível para utilização em cultivos irrigados. A Pegada Hídrica Verde (PH_{verde}) refere-se à precipitação que não escoou ou não repõe a água subterrânea, que é armazenada no solo ou na vegetação, ou seja, é a água consumida no processo evapotranspiratório das culturas. A Pegada Hídrica Cinza (PH_{cinza}) indica o nível de poluição na cadeia produtiva do produto ou processo, é definido como a água necessária para diluir/depurar o poluente, na agricultura aponta a poluição gerada pelo manejo de fertilizantes e defensivos agrícolas.

Neste contexto, é necessário avaliar os possíveis impactos ambientais capazes de expressar quanto de água foi utilizado pela agricultura em uma determinada região. Portanto, objetivo neste trabalho foi avaliar a dinâmica temporal da pegada hídrica de diferentes cultivares de soja em anos/safras no polo de grãos Santarém/Belterra, na Amazônia.

4.2. MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

Na Figura 1, destacam-se as áreas destinadas para agricultura anual (milho, feijão, soja), em que nos anos safras os sistemas de produção vêm cultivando soja, desde 2006. Atualmente o polo de grãos de Santarém/Belterra é reconhecido como uma das principais rotas para o escoamento de grãos do Brasil. Nessa região predomina a tipologia climática Am₃, de acordo com a adaptação na metodologia de Köppen por Martorano et al. (1993). As chuvas anuais variam entre 2.000 a 2.300 mm, ocorrendo no mês de menor oferta

pluvial valores abaixo de 60 mm. A temperatura máxima do ar varia entre 30,5 a 32°C e as mínimas entre 21,0 a 22,5°C. O período mais chuvoso ocorre de dezembro a maio com cerca de 80% dos totais pluviais e, entre junho a novembro são contabilizados o restante do volume precipitado na região (Varela-Ortega et al., 2013).

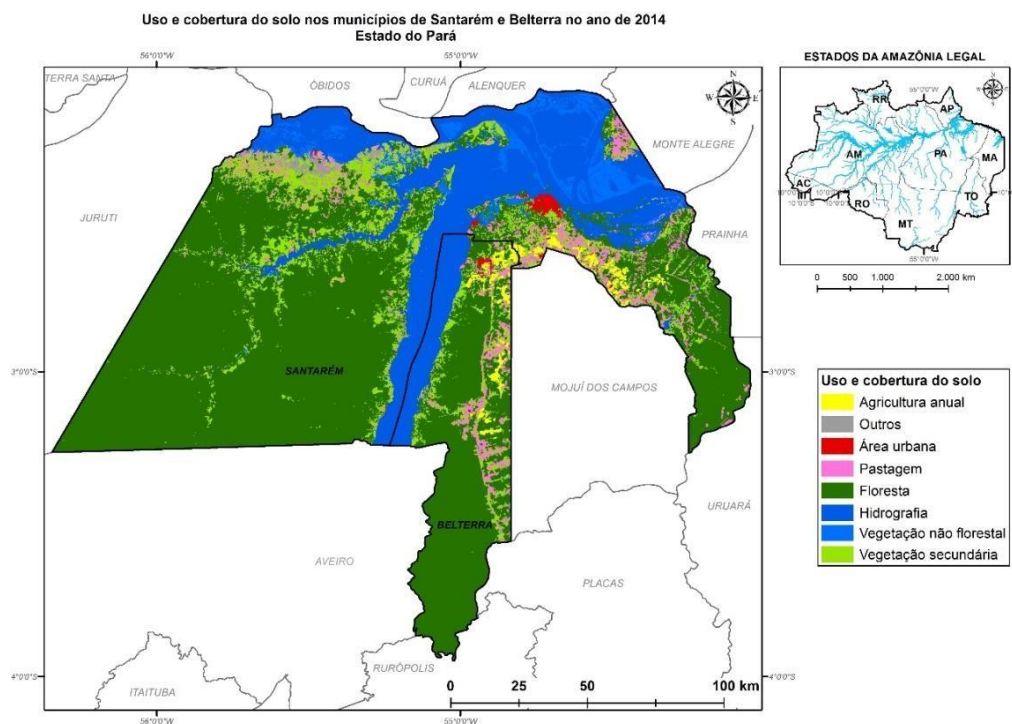


Figura 1. Mapa de localização do polo de grãos Santarém/Belterra no oeste do Pará, Amazônia.

Para calcular a pegada hídrica total das oito cultivares testadas na região, fez-se as estimativas das Pegadas hídricas verde e cinza a partir dos valores em rendimento dessas cultivares, mas os valores de estimativas de taxas evapotranspiratórias foram contabilizados considerando a duração do ciclo e condições térmico-hídricas em cada ano/safra, no período de 2009 a 2014, conforme descrito a seguir.

Cálculo da Pegada Hídrica para a Soja em desenvolvimento

O cálculo da Pegada Hídrica Total (PH_{total}) para uma cultura em crescimento foi realizado com base na metodologia desenvolvida por Hoekstra et al. (2011), equação 1.

$$PH_{total} = PH_{verde} + PH_{azul} + PH_{cinza} \quad (1)$$

em que, PH_{verde} é a Pegada Hídrica Verde ($m^3 t^{-1}$), PH_{azul} é a Pegada Hídrica Azul ($m^3 t^{-1}$) e a PH_{cinza} é a Pegada Hídrica Cinza ($m^3 t^{-1}$)

Como na região de estudo os cultivos não são irrigados, a PH_{azul} foi desconsiderada na contabilização da pegada hídrica total.

Pegada hídrica verde (PH_{verde})

Para o cálculo de evapotranspiração da cultura no polo de grãos de Santarém/Belterra foi utilizado o modelo CROPWAT 8.0 que foi desenvolvido pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2010). Nessa ferramenta foram inseridos os dados mensais, correspondentes ao período de 2009 a 2014. Assim, inseriu-se os valores de precipitação pluvial (mm), temperatura máxima e mínima ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa do ar (%) e velocidade do vento (m s^{-1}), oriundos de estação automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e posto pluvial da Agência Nacional de Águas (ANA). Os valores de coeficiente da cultura (K_c) adotados foram 0.4, 1.15 e 0.5, correspondentes a fase inicial, média e final, respectivamente (Allen et al., 1998). Identifica-se na Amazônia a predominância de Latossolo Amarelo, o que determinou os valores de entrada gerais do solo no software. A PH_{verde} foi estimada baseando-se nos dados de clima, precipitação e no período de semeadura de cada cultivar apontadas na Tabela 1. Utilizou-se a metodologia de Hoekstra et al. (2011), equação 2.

$$PH_{\text{verde}} = \frac{C_{\text{verde}}}{R} \quad (2)$$

em que, PH_{verde} é a Pegada Hídrica Verde da cultura ($\text{m}^3 \text{t}^{-1}$), C_{verde} o consumo de água verde ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$); e R é o rendimento da cultura (t ha^{-1}).

O componente da C_{verde} foi estimado com base na evapotranspiração diária acumulada (ET , mm dia^{-1}) durante o ciclo completo de desenvolvimento da cultura, conforme Equação 3.

$$C_{\text{verde}} = 10 \times \sum_{d=1}^{pdc} ET_{\text{verde}} \quad (3)$$

Em que, ET_{verde} é a evapotranspiração da cultura, considerando apenas a oferta pluvial, conforme os pressupostos de Hoekstra et al. (2011) como água verde. O fator 10 refere-se a conversão da unidade de ET_{verde} em milímetros para volumes de água por superfície terrestre, em $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$. O somatório considera desde o dia de semeadura ($d=1$) até a colheita e pdc , corresponde a duração do período de desenvolvimento da cultivar, adotada neste artigo como o número de dias conforme as especificações de cada cultivar.

Dados das cultivares de soja

Na Tabela 1 estão listadas as cultivares utilizadas neste estudo, indicando o número de dias no período da emergência até a floração, o número de dias para completar o ciclo e o rendimento de grãos (t ha^{-1}). Ressalta-se que essas oito cultivares (C_1 a C_8) foram materiais testados na região por Borges et al. (2012) e ordenados neste trabalho de acordo com o rendimento de grãos por cultivar. Ressalta-se que em cada ano/safra as estimativas da pegada hídrica foram realizadas considerando-se os rendimentos obtidos pelos autores (Borges et al., 2012), variando-se as condições meteorológicas no período de 2009 a 2014,

sendo apresentado o valor médio pluviual (PRP) até a floração e ao final de cada ciclo dessas cultivares, no polo de grãos Santarém/Belterra.

Tabela 1. Cultivares, dias até a floração, número de dias para completar o ciclo, rendimento de soja (*Glycine max*), volume médio (2009 a 2014) de água precipitada (PRP) até a floração e até o final do ciclo em Santarém e Belterra.

Cultivares e rendimento (t ha ⁻¹) indicado no “parêntese”	Floração (dias)	Ciclo (dias)	SANTARÉM		BELTERRA	
			PRP (mm)	PRP (mm)	PRP (mm)	PRP (mm)
			Floração	Ciclo	Floração	Ciclo
C ₁ BRS 278RR (2,7)	46	107	355,7	1205,7	345,1	796,8
C ₂ BRS 325RR (2,5)	42	103	337,8	1204,1	271,3	782,1
C ₃ BRS 333RR (2,8)	42	105	337,8	1204,1	271,3	788,3
C ₄ P98Y70 (2,7)	45	103	345,4	1204,1	309,4	782,1
C ₅ BRS 279RR (2,4)	42	96	337,8	1162,1	271,3	681,2
C ₆ BRS 8990RR (2,3)	42	103	337,8	1204,1	271,3	782,1
C ₇ BRS 271RR (2,1)	42	105	337,8	1204,1	271,3	788,3
C ₈ M8766RR (1,9)	40	96	322,9	1162,1	265,6	681,2

Pegada hídrica cinza (PH_{cinza})

A estimativa da PH_{cinza} foi realizada com base em doses de fertilizante nitrogenado empregado no processo de adubação de culturas, considerado como fonte difusa de poluição dos corpos hídricos. Utilizou-se a metodologia de Hoekstra et al. (2011), equação 4.

$$PH_{cinza} = \frac{(\alpha \times TAQ) / (c_{m\acute{a}x} - c_{nat})}{R} \quad (4)$$

Em que, PH_{cinza} é a Pegada Hídrica Cinza (m³ t⁻¹), α é a fração de lixiviação do fertilizante, TAQ é a taxa de aplicação por hectare de nitrogênio em campo (kg ha⁻¹), $c_{m\acute{a}x}$ é a concentração máxima aceitável e a c_{nat} é a concentração natural do poluente (nitrato) no corpo hídrico e R, o rendimento da cultivar.

Valores de referência para a concentração máxima permitida de nitrato e dosagens utilizadas de fertilizantes nitrogenados.

Neste trabalho atribuiu-se o valor de 10% para a fração de lixiviação de fertilizante nitrogenado, recomendado por Hoekstra et al. (2011). O valor limite aceitável do nitrato foi considerado de acordo com a legislação CONAMA 357/2005 que categoriza como classe 3 para águas doces e estabelece como quantidade máxima permitida de 10 mg L⁻¹. Atribuiu-se o valor 0 (zero) para a concentração natural de nitrato em corpos hídricos (Wu et al., 2016). Considerou-se nas estimativas de PH_{cinza} a adubação de nitrogênio (N) conforme as recomendações de Petter et al. (2012) que preconiza 30 kg ha⁻¹. Também foram estimados os valores de PH_{cinza} para o N existente nas formulações (2:20:20) dos

adubos comercializados na região, sendo 2 kg ha^{-1} o máximo utilizado na adubação de cobertura.

Fez-se a análise de variância considerando-se o delineamento em blocos casualizados, onde as cultivares foram testadas em unidades experimentais com certa heterogeneidade e validadas obedecendo os princípios de repetição, aleatorização e controle local. A estimativa da variância residual evidencia que a variação ambiental entre os blocos foi isolada. Assim, no teste de significância (ANOVA) as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) avaliando-se a diferença entre a pegada hídrica total de cada cultivar, sendo que o menor valor de pegada hídrica (a) representa o melhor desempenho pela cultivar comparadas duas a duas.

4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2 é possível identificar que no período entre janeiro e fevereiro, ou seja, quando as cultivares sendo semeadas em 1º de janeiro estariam entre as fases de crescimento vegetativo e início da floração, os box-plots expressam que as chuvas foram melhor distribuídas em Santarém do que em Belterra. Todavia, apesar da maior simetria entre os eventos pluviais em Santarém, identificou-se maiores discrepâncias nas chuvas diárias nesse município ao comparar com os pontos extremos em Belterra, que apresentou, nesse período as maiores assimetrias positivas. No final de fevereiro, em Santarém, foram registradas cotas pluviais médias que atingiram cerca de 150 mm. No período correspondente à plena floração, formação de legumes, enchimento e maturação de grãos, percebe-se que as chuvas em Belterra mantiveram as assimetrias positivas no final do ciclo dessas cultivares.

Em se tratando de radiação solar na área de estudo verifica-se que as maiores variações ocorreram entre ao final do ciclo das cultivares, atingindo a máxima energia incidente aos cultivos de soja na ordem de $16 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, registrada no 1º decêndio de abril. Ao final do ciclo desses materiais de soja analisados a radiação solar atinge os menores valores em torno de $14 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, sendo suficiente para o pleno desenvolvimento da cultura. Durante o ciclo das cultivares, nota-se que em Santarém o volume de água precipitado é superior entre 60% a 65% em relação a Belterra. Até o início da floração as chuvas em Santarém podem contabilizar cotas variando entre 80% a 97% a mais do que em Belterra. Observou-se que entre os fatores biofísicos a oferta pluvial é a variável que mais influência na PH_{verde} , pois a radiação solar e o fotoperíodo praticamente não variam durante as safras agrícolas.

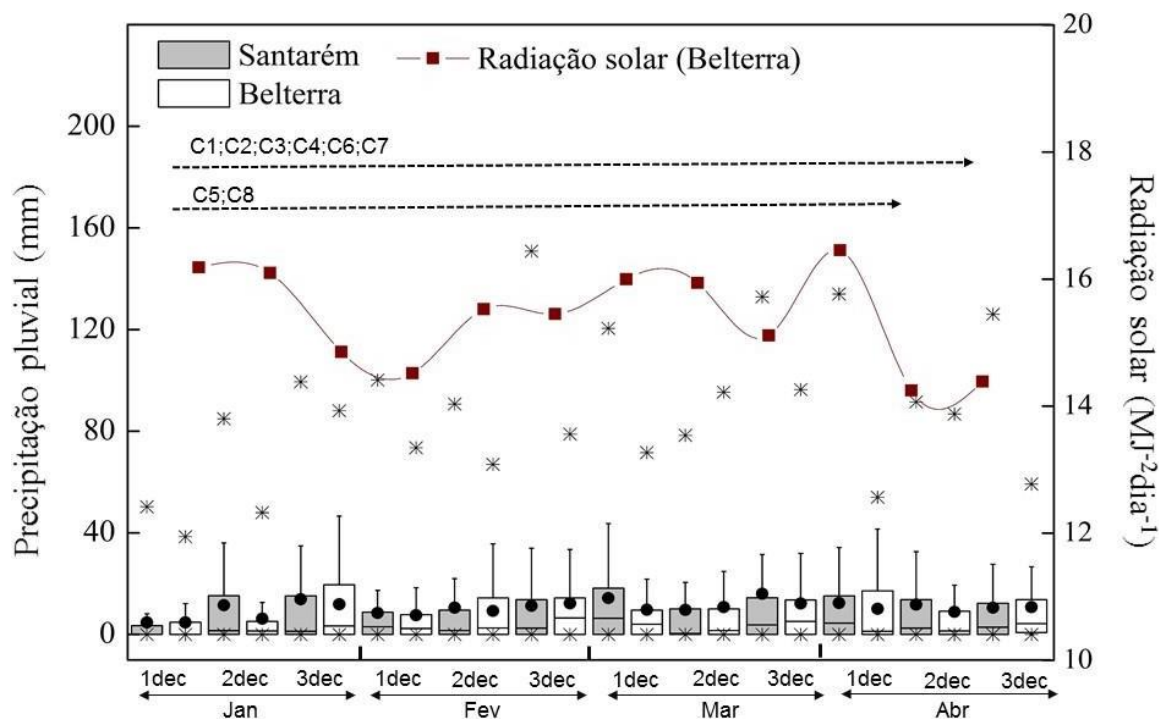


Figura 2. Variabilidade decenal média da precipitação pluvial e radiação solar, no período de 2009 a 2014 em Santarém e Belterra, Amazônia.

Na Tabela 2 observa-se que nos anos/safras analisados, a cultivar C₈ foi a que apresentou a maior PH_{verde} em relação às demais cultivares, sendo a mais elevada na safra 2009/2010 com de 1.591 m³ ha⁻¹. Como essa cultivar completou seu ciclo em 96 dias com rendimento médio de 1,9 t ha⁻¹, esses valores indicam que houve baixa eficiência no uso da água da região. A cultivar C₁ que completou seu ciclo com 107 dias, teve o menor valor de pegada hídrica verde (885 m³ ha⁻¹), no ano safra 2011/2012 com rendimento de 2,7 t ha⁻¹, mas estatisticamente teve semelhante desempenho no uso eficiente de água comparada com a C₂ e C₃ (a), conforme observa-se na Figura 3.

Tabela 2. Pegada hídrica verde das cultivares de soja (*Glycine max*), no período das safras agrícolas 2009/2010 a 2013/2014, no polo de grãos Santarém/Belterra.

Cultivares de soja	Pegada Hídrica Verde (m ³ t ⁻¹)					Média
	2009/2010	2010/2011	2011/2012	2012/2013	2013/2014	
C ₁	1103	986	885	1011	1007	998
C ₂	1094	974	872	998	988	985
C ₃	1135	1012	908	1038	1031	1025
C ₄	1153	1027	920	1052	1042	1039
C ₅	1215	1074	957	1098	1075	1084
C ₆	1338	1191	1067	1220	1208	1205
C ₇	1501	1338	1201	1372	1363	1355
C ₈	1591	1407	1253	1439	1408	1419

Os resultados também evidenciam que a dinâmica temporal da PH_{total} por cultivar durante os anos/safra 2009/2010 a 2013/2014 foram aumentando gradativamente,

principalmente a partir da cultivar C₆. Notou-se que a cultivar C₈ apresentou a maior PH_{total} que contabilizou no período 7.906 m³ t⁻¹, atingindo no ano/safra 2009/2010 a pegada hídrica mais elevada com 1.752 m³ t⁻¹. Por outro lado, no ano/safra 2011/2012 essa mesma cultivar reduziu sua PH_{total} para 1.415 m³ t⁻¹, explicado pela sua baixa capacidade de uso da oferta hídrica para refletir em rendimento de grãos. Vale destacar que além da disponibilidade hídrica, outros fatores devem ser considerados como por exemplo, o fotoperíodo, as condições pedológicas, radiação solar, sistema de manejo, entre outros.

Aplicando-se o teste de média entre as cultivares, observou-se efeito significativo ao nível de 5% de probabilidade, indicando diferença entre os materiais em relação a PH_{total}. As maiores médias encontram-se nas cultivares C₈, C₇ respectivamente, que diferem estatisticamente das cultivares C₁ a C₅ (Figura 3).

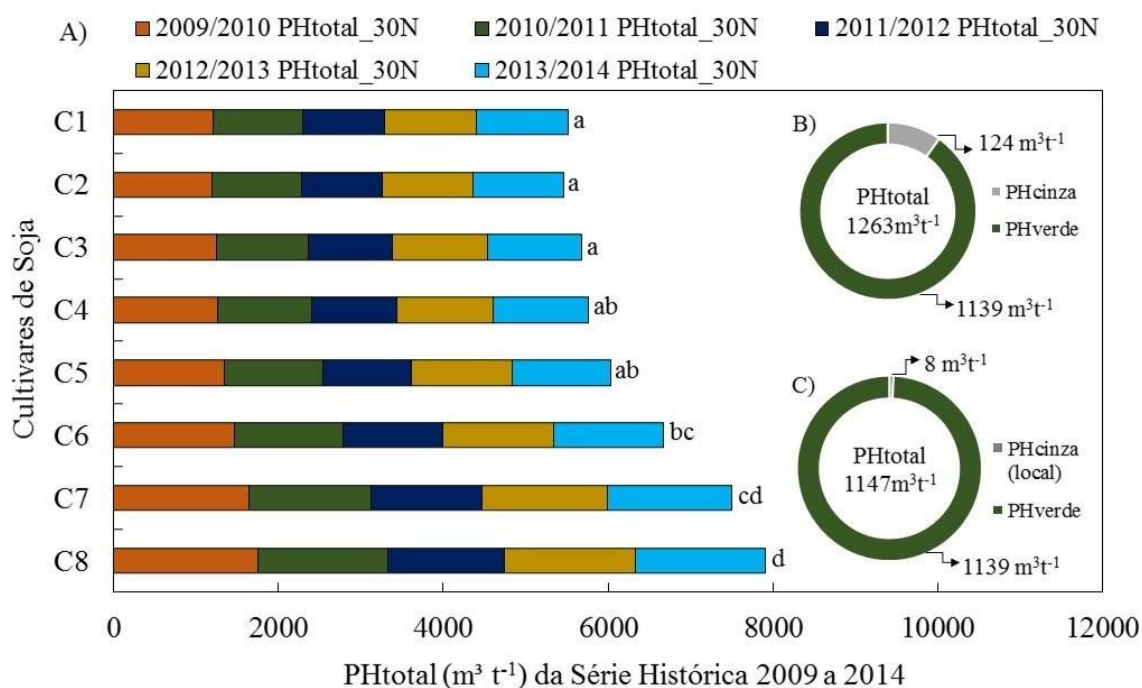


Figura 3. A) Pegada Hídrica total por cultivares de soja estimada no período de 2009 a 2014 considerando 30 kg ha⁻¹ de adubo nitrogenado. B) Pegada hídrica média considerando 30 kg ha⁻¹. C) Pegada hídrica média considerando de 2 kg ha⁻¹ (adubação local).

Avaliando a pegada hídrica global (Mekonnen e Hoekstra, 2011), verificaram que a produção agrícola no período de 1996 a 2005 teve um consumo de água de 7.404 Gm³ ano⁻¹ (bilhões de metros cúbicos por ano), indicando que 78% corresponde a PH_{verde}, 12% a PH_{azul} e 10% a PH_{cinza}. Por exemplo, para produzir trigo, que é a matéria prima mais utilizada na fabricação de pão, o volume de água total atingiu 1.087 Gm³ ano⁻¹, sendo que 70% refere-se a PH_{verde}, 19% PH_{azul} e 11% de PH_{cinza}, indicando que essa é uma cultura com alta demanda hídrica para completar seu ciclo. Os referidos autores destacam que agricultura de sequeiro tem PH de 5.173 Gm³ a⁻¹ (91% verde, 9% cinza) e a irrigada tem PH_{total} de 2.230 Gm³ a⁻¹ (48% verde, 40% azul, 12% cinza), tem a participação da soja em 5% da pegada hídrica global, ou seja, os valores são da ordem de 370 Gm³ ano⁻¹.

Ao comparar a PH_{total} média obtida no polo de grãos Santarém/Belterra com os resultados da literatura, observou-se que os valores obtidos neste trabalho foram inferiores ao compara com os valores de outras áreas produtivas no globo terrestre. Em polos de grãos no Brasil, como, por exemplo no Paraná, no município de Maringá (Bleninger e Kotsuka, 2015) a pegada hídrica da soja foi de $2.210 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$, indicando que esses valores foram cerca de 43% superiores aos valores obtidos no polo Santarém/Belterra. Vale destacar que mesmo os cultivos de soja tenham sido irrigados em Maringá, os valores elevados de PH_{cinza} ($420 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$), contribuíram para evidenciar que houve redução na eficiência do uso de água nos cultivos de soja. Na China, a PH_{total} da soja foi de $1.816 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$ (Huang et al., 2012), diferente dos valores encontrados por Costa et al. (2016), também no Pará, mas no polo de grãos Paragominas, com valores da ordem de $1.327 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$, os quais foram inferiores aos valores médios globais para a soja ($2.144 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$), conforme estudos de Mekonnen e Hoekstra (2010).

Vale ressaltar que em Santarém/Belterra os valores médios de pegada hídrica foram cerca de 30% inferiores aos resultados na China, 5% menores que as estimativas de Costa et al. (2016) para a soja em Paragominas e, 41% abaixo dos valores de pegada hídrica média global.

Assim, em relação aos valores disponíveis na literatura em outras regiões produtoras de grãos, as estimativas para o polo Santarém/Belterra apresentam a menor PH_{cinza} , devido as baixas taxas de adubação nitrogenada na região, onde 2 kg ha^{-1} indica que esses são os valores máximos quanto ao uso de N na adubação de cobertura pelos sojicultores da região. A PH_{cinza} mais elevada contabilizou em média $8 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$ para a soja, pois essa adubação é considerada desnecessária, pois considera-se o uso de inoculantes no processo de semeadura. Por outro lado, existem sistemas de produção de soja que demandam alta tecnologia, inclusive com uso elevado de N, os quais podem atingir 300 kg ha^{-1} (Lamond e Wesley, 2001). Também, estudos apontam que a adubação com N pode ser adotada em casos de baixa eficiência na fixação biológica da planta e reduzida fertilidade do solo (Petter et. al., 2012).

4.4. CONCLUSÕES

- A dinâmica temporal da pegada hídrica do polo de grãos Santarém/Belterra aponta que existem cultivares que expressam alto potencial no uso eficiente da água e podem ser utilizadas no planejamento estratégico de redução da pegada hídrica pela soja na região;
- Do ponto de vista ambiental a baixa uso de adubação nitrogenada no polo Santarém/Belterra em relação a outras áreas produtivas no Brasil e no Mundo reforçam que o indicador de Pegada Hídrica Cinza deve ser contabilizado nas avaliações de uso consuntivo de água no processo produtivo sojicultor na Amazônia;
- As altas taxas evapotranspiratórias e os elevados rendimentos de grãos em anos/safras devem ser contabilizados sendo a Pegada Hídrica Verde um forte indicador de desempenho ambiental nos sistemas de produção de grãos na Amazônia;
- As cultivares de soja C1, C2 e C3 são as mais indicadas para o plantio, com alto uso eficiente da água quando comparadas as demais.

4.5. REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. 'Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements', FAO irrigation and Drainage Paper 56, **Food and Agriculture Organization**, Rome, 1998.
- BLENINGER T.; KOTSUKA, L. K. Conceitos de água virtual e pegada hídrica: estudo de caso da soja e óleo de soja no Brasil. **Revista Recursos Hídricos**, v. 36 p. 15-24, 2015. doi: 10.5894/rh36n1-2.
- BORGES, M. S.; EL-HUSNY, J. C.; CARVALHO, E. A. Comportamento de cultivares e linhagens de soja transgênica em Belterra, Pará. In: **16º Seminário de Iniciação Científica da Embrapa**. Belém, Pará, 2012.
- COSTA, D. C.; MARTORANO, L. G.; MARQUES, M. C.; EL-HUSNY, J. C.; NACIF, A. Pegada hídrica como indicador de sustentabilidade em polo de grãos na Amazônia. **Enciclopédia Biosfera**, v. 13, p. 920-929, 2016. doi: 10.18677/Enciclopedia_Biosfera_2016_079.
- ERCIN, A. E.; HOEKSTRA A. Y. Water footprint scenarios for 2050: A global analysis. **Environment International** v.64, p 71–82, 2014. doi: 10.1016/j.envint.2013.11.019.
- FAO. 'CROPWAT 8.0 Model'. FAO, Rome. www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html, 2010.
- FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. Ecofisiologia da Soja. **Comunicado Técnico 75**, Londrina, v. 48, 9p, 2007.
- HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K.; ALDAYA, M. M.; MEKONNEN, M. M. Water Footprint Manual: **Water Footprint Network**, Enschede, the Netherlands. London: Earthscan; 2011.
- HUANG, J., ZHANG, H., TONG, W., CHEN, F. The impact of local crops consumption on the water resources in Beijing. **J. Clean. Prod.** v.21 (1), p 45–50, 2012. doi: 10.1016/j.jclepro.2011.09.014.
- LAMASTRA, L.; SUCIO, N. A.; NOVELLI, E.; TREVISAN, M. A new approach to assessing the water footprint of wine: An Italian case study. **Science of the Total Environment**, Università Cattolica del Sacro Cuore, 84, 2014. doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.05.063.
- LAMOND, R. E.; WESLEY, T. L. In Season Fertilization for High Yield Soybean Production. **Better Crops With Plant Food**, v. 85, n. 2, p. 6-7, 2001.

- MARTORANO, L. G.; NECHET, D.; PEREIRA, L. C. Tipologia climática do Estado do Pará: adaptação do método de Köppen. **Boletim de Geografia Teórica**, v. 23, p. 45-46, 1993.
- MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. A global and high-resolution assessment of the green, blue and grey water footprint of wheat. **Hydrol. Earth Syst. Sci.** v 14 (7), p 1259–1276, 2010. doi: 10.5194/hess-14-1259-2010
- MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, 15, 1577-1600, 2011. doi: 10.5194/hess-15-1577-2011
- PETTER F. A., PACHECO, L. P., NETO, F. A., SANTOS, G. G. Respostas de cultivares de soja à adubação nitrogenada tardia em solos de cerrado. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 1, p. 67 – 72, 2012.
- UNESCO (UNITED NATIONS). Educational, scientific and cultural organization: **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos**. WWAP. 2016. 12p.
- UNESCO (UNITED NATIONS). Department of Economic and Social Affairs/Population Division **World Population Prospects: The 2015 Revision, Key Findings and Advance Tables**. Working Paper No. ESA/P/WP.241. 2015. 66p.
- VARELA-ORTEGA, C.; KOK, K.; BLANCO, I.; HELFGOTT.; TOLEDO, M.; CLAVIJO, F.; LAZOS, E.; GERRITSEN, P.; MARTORANO, L. G.; SIMOES, M.; FERREIRA, S.; JUÁREZ, E. **A handbook for the participatory process in ROBIN**: Development of methods for local stakeholder meetings. Robin Consortium, 2013. 154 p.
- WU, B.; ZENG, W.; CHEN, H.; ZHAO, Y. Grey water footprint combined with ecological network analysis for assessing regional water quality metabolism. **Journal of Cleaner Production**, v.112, p. 3138 – 3151, 2016. doi: 10.1016/j.jclepro.2015.11.009

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como indicador de sustentabilidade, a pegada hídrica avalia o impacto humano sobre os recursos hídricos. Essa metodologia pode ser empregada em diferentes escalas, desde de um único produto até um conjunto de setores e processos produtivos de uma região ou um país. Os resultados encontrados nesta pesquisa, com base aos encontrados na literatura, apontam que os padrões de consumo da sociedade estão além da capacidade de suporte do planeta.

Apesar da dificuldade em se obter dados locais referente ao uso da água foi possível coletar um significativo número de informações junto aos órgãos oficiais de monitoramento, assim, as estimativas de pegada hídrica atingiram um certo grau de confiabilidade, mas ainda é muito limitada a aplicação da metodologia na região Amazônica.

As principais dificuldades na aplicação da metodologia são apontadas com o intuito de ampliar a aplicação desse indicador na estimativa do uso responsável do recurso hídrico que é um bem muito caro para ser restaurado, quanto a sua potabilidade. Espera-se que essa metodologia seja utilizada na avaliação e valoração do uso da água nos processos produtivos na região.

Esse indicador pode subsidiar o poder público e a população quanto ao modelo de desenvolvimento ideal, que prioriza a reciclagem e o uso eficiente da água, principalmente pelo setor agrícola brasileiro.