

**ARTIGO CIENTÍFICO****Sustentabilidade ambiental da pegada hídrica na sub-bacia do Alto Piranhas no sertão paraibano*****Environmental sustainability of the water footprint in the Alto Piranhas sub-basin in the sertão paraibano, Brazil***

Luíza Lilandra Teixeira Candido¹, Allan Sarmiento Vieira², Érika Lira da Silva³, Francisco Dinarte de Sousa Fernandes⁴, Raimundo Alves Cândido⁵, José Abrantes de Sá Neto⁶

Resumo: Os avanços na gestão da água exigem conhecimento da disponibilidade e da demanda de recursos hídricos, como subsídio para definir ações prioritárias que possam conservar o uso adequado da água. Esse artigo tem como objetivo principal, determinar a pegada hídrica na sub-bacia do Alto Piranhas, localizada no sertão paraibano, no ano de 2015, analisando através de cenários de operação a sua sustentabilidade. Com base nisto, foram feitos estudos com os métodos da pegada hídrica a fim de verificar a sua eficiência e eficácia na geração de informações sobre a quantidade de água consumida nos principais setores de utilização da água, como também analisar a sustentabilidade da sub-bacia estudada. A pesquisa se classifica como exploratória e descritiva, uma vez que envolve pesquisa bibliográfica, estudo de caso, coleta de dados e ainda estabelece relações entre variáveis para que possa chegar ao resultado final. Os resultados demonstraram, para o ano de 2015, que a sub-bacia é sustentável, apesar de termos um ano considerado muito seco e apresentar práticas ineficientes. Porém, quando analisado no período de julho a dezembro a sub-bacia apresentara altos índices de escassez e poluição, devido à diminuição das vazões naturais. Portanto, os estudos na sub-bacia do Alto Piranhas, irão subsidiar o gestor público numa tomada de decisão precisa e promover consequentemente o fortalecimento do sistema de gerenciamento de recursos hídricos que busca uma governança sustentável.

Palavras-chaves: Recursos hídricos; Semiárido brasileiro; Uso da água.

Abstract: Advances in water management require knowledge of the availability and demand of water resources, as a subsidy to define priority actions that can conserve the proper use of water. The main objective of this article is to determine the water footprint in the Alto Piranhas sub-basin, located in the Sertão Paraíba, in 2015, and analyze its sustainability through operational scenarios. Based on this, studies were carried out with the water footprint methods in order to verify their efficiency and effectiveness in generating information on the amount of water consumed in the main water use sectors, as well as to analyze the sustainability of the studied sub-basin. The research is classified as exploratory and descriptive, since it involves bibliographic research, case study, data collection and also establish relations between variables so that it can reach the final result. The results of the research showed that the sub-basin is sustainable for the year of 2015, even though we have a very dry year and inefficient practices. However, when analyzed in the period from July to December the sub-basin presented high rates of scarcity and pollution, due to the reduction of natural flows. Therefore, the studies in the High Piranhas subbasin will subsidize the public manager in a precise decision-making and consequently promote the strengthening of the water resources management system that seeks sustainable governance.

Key words: Water resources; Brazilian semi-arid; Water use.

*Autor para correspondência

Recebido para publicação em 27/03/2018; aprovado em 04/06/2018

¹Graduada em Direito, Universidade Federal de Campina Grande, Sousa, Paraíba. (83) 3521-3236, luizalilandra@gmail.com

²Professor Doutor em Recursos Naturais, Grupo de Pesquisa Gestão Ambiental no Semiárido, Universidade Federal de Campina Grande, Sousa, Paraíba. (83) 3521-3236, allan.sarmiento@ufcg.edu.br.

³Administradora, Especialista em Gestão Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Sousa, Paraíba. (83) 3521-3236, erikaliradasilva@gmail.com

⁴Professor Mestre em Administração, Universidade Federal de Campina Grande, Sousa, Paraíba. (83) 3521-3236, dinarteprofessor@gmail.com.

⁵Mestre Profissional em Sistemas Agroindustriais, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, Paraíba. raimundo.semace@gmail.com

⁶Graduado em Ciências Contábeis, Especialista em Contabilidade para Gestão Pública e Empresarial, Universidade Federal de Campina Grande, Sousa, Paraíba. (83) 3521-3236, abrantesneto2015@gmail.com.



INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a humanidade vem vivenciando um cenário de crise com relação ao crescimento populacional e a degradação do meio ambiente, exigindo cada vez mais um esforço teórico-flexivo dos problemas gerados pelo homem ao meio ambiente. Numa tentativa de remediar e controlar o mau uso dos recursos hídricos é necessário à formalização de indicadores que mensurem e analisem continuamente a minimização da escassez hídrica numa bacia hidrográfica.

A escassez de água é uma preocupação crescente, e vem requisitando uma análise criteriosa, com indicadores precisos que desenhem o mapa da escassez de água no mundo. Hoekstra et al. (2012), analisaram o consumo hídrico em 405 bacias hidrográficas em todo o mundo e descobriram que a escassez de água atinge aproximadamente uma população de 2,7 bilhões por pelo menos um mês a cada ano. Esta pesquisa foi o primeiro estudo no mundo que avaliou a escassez hídrica, numa escala mensal, em nível de bacia hidrográfica.

No Brasil, apesar de possuir a maior reserva hídrica do planeta, existem ainda vários conflitos pelo o uso da água, principalmente na região Nordeste, devido à irregularidade das chuvas, que demandam práticas eficientes que promovam uma boa governança da água. Sem contar ainda, no crescimento da economia brasileira, que vem requerendo volumes maiores de água em quantidade e qualidade nas diversas atividades produtivas. Ficando notória a necessidade de reduzir os níveis de escassez hídrica, com o uso de tecnologias eficientes, que promovam consequentemente o uso racional desse recurso estratégico para a sociedade (LIMA, 2014).

Vários são os fatores responsáveis por influenciar na redução da disponibilidade dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas, a exemplo das altas taxas de evaporação, a demanda, degradação do meio ambiente e poluição causada, principalmente, pelos esgotos domésticos e industriais lançados em toda a extensão da bacia. (SOUZA et al., 2012). Para tanto, o estresse hídrico é observado principalmente no semiárido nordestino, onde há pouca disponibilidade natural da água, e uma grande requisição para uso e para diluição dos dejetos das atividades industriais. Na busca pela mensuração do consumo e da apropriação da água doce foi criado um indicador chamado pegada hídrica, um conceito recente, que tem por finalidade quantificar e qualificar quantos litros de água são utilizados no desenvolvimento das atividades humanas nos diferentes setores da sociedade.

Segundo Hoekstra e Chapagain (2011), a pegada hídrica pode ser considerada como indicador abrangente que considera a medida tradicional de apropriação, como também, os níveis de escassez, ou seja, um indicador de medida de pressão antrópica sobre os recursos hídricos, que considerada a água que não pode ser vista, denominada de água virtual, que é utilizada na produção dos bens e serviços numa bacia hidrográfica. Esse conceito de água virtual foi introduzido por Allan (1998), quando se desejou analisar a possibilidade de importar água virtual para minimizar os problemas de escassez de água no oriente médio.

Albuquerque (2013) define os três componentes básicos utilizadas na determinação da pegada hídrica numa determinada entidade e por tipo de usos (Figura 01), são elas: a pegada azul, que é definida como os volumes consuntivos de água doce retirados dos rios e lagos; a pegada verde, que corresponde aos volumes de água resultantes do balanço

hídrico do solo; e a pegada cinza, que considera os volumes de efluentes (esgotos domésticos, industriais, entre outros) provenientes das atividades humanas.

Dessa forma, o presente artigo teve como objetivo geral determinar a pegada hídrica total da Sub-bacia do Alto Piranhas-PB no ano de 2015 e assim analisar a sua sustentabilidade sob a óptica de diferentes perspectivas.

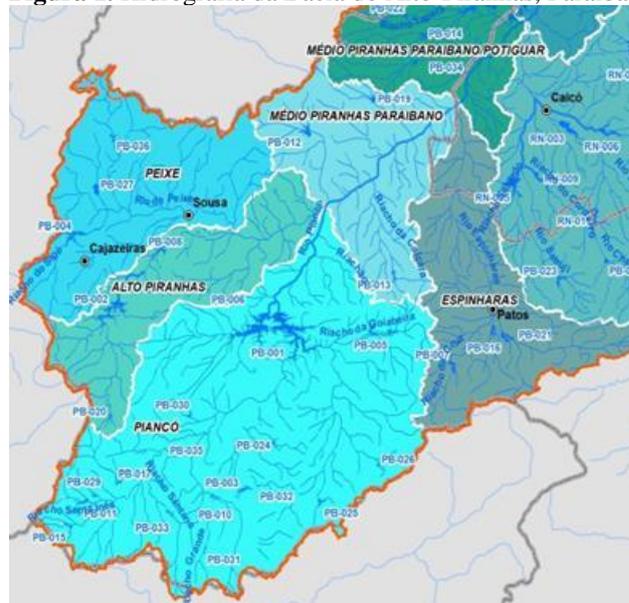
MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho classifica-se como exploratório e descritivo, uma vez que envolve pesquisa bibliográfica, estudo de caso e ainda estabelece relações entre variáveis. As observações serão estabelecidas de forma direta, já que se utiliza de instrumentos com finalidade de obter dados que evidenciaram o alcance dos objetivos propostos.

No desenvolvimento da pesquisa optou-se pelo método hipotético-dedutivo, pois permite que o pesquisador proponha uma hipótese e parte, por meio da dedução, para sua comprovação ou não. A abordagem desta pesquisa foi qualitativa, porquanto o pesquisador, ao desenvolver o seu estudo, utilizar os dois métodos, usufruindo, por um lado, da vantagem de poder explicitar todos os passos da pesquisa e, por outro, da oportunidade de prevenir a interferência de sua subjetividade nas conclusões obtidas.

O trabalho foi realizado com a Sub-bacia do Alto-Piranhas (Figura 1) que pertence ao Rio Piranhas abrangendo o seu alto curso. Situa-se no extremo oeste do Estado da Paraíba, localizando-se entre as latitudes 6° 36' 47'' e 7° 22' 56'' Sul e, entre as longitudes 37° 48' 15'' e 38° 38' 15'' Oeste no Sertão Paraibano. Limita-se com a bacia do Rio Piancó ao Sul e Leste, com a bacia do Rio do Peixe ao Norte, com o Médio-Piranhas a Nordeste e com o Estado do Ceará a Oeste. Possui sete reservatórios (Bartolomeu I, Açude Novo, São José, Engenheiro Ávido, Bom Jesus, Jenipapeiro I e São Gonçalo) monitorados pela AESA (Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba). Os principais açudes são: Engenheiros Ávidos, que abastece cidade de Cajazeiras, e o açude de São Gonçalo, que abastece a cidade de Sousa e perímetro irrigado de São Gonçalo, com uma área aproximadamente de 4.000 ha e com atividades voltadas para a agroindústria.

Figura 1. Hidrografia da Bacia do Alto-Piranhas, Paraíba



Fonte: AESA (2014).

As cidades abastecidas pela sub-bacia consideradas na pesquisa foram: Cajazeiras, São José de Piranhas, Marizópolis, Sousa, Nazarezinho, Bonito de Santa Fé, Carrapateira e São José da Lagoa Tapada. Além disso, para o cálculo da água cinza, foram consideradas as cidades que lançam efluentes na sub-bacia, que são: São Domingos de Pombal, Bonito de Santa Fé, Monte Horebe, São José de Piranhas, Nazarezinho, Carrapateira, São José da Lagoa Tapada, Aparecida e Marizópolis, esses dados foram coletados no site da AESA, SIGaesa – web (2016).

Com a análise dos dados iniciais pode-se inferir a seguinte hipótese: “Será que a pegada hídrica analisada consegue mapear o grau de escassez da água e conhecer consequentemente o nível de sustentabilidade da Sub-bacia do Alto Piranhas-PB?”. Em consonância com a problemática e com o intuito de averiguar se esta hipótese é verdadeira ou falsa, foi realizada uma avaliação completa da pegada hídrica na sub-bacia estudada, considerando quatro fases distintas: definição de objetivo e escopo de avaliação - contabilização da pegada hídrica; a sustentabilidade; e a formulação de resposta à pegada hídrica.

A pegada hídrica total da sub-bacia do Alto Piranhas em 2015 foi calculada com base nos principais usos da água, onde foram considerados os setores fundamentais: abastecimento urbano e rural, saneamento, agricultura e pecuária. A pegada hídrica total da sub-bacia analisada é calculada pela soma das pegadas hídricas (azul, verde e cinza) de cada setor, conforme a equação 01.

$$PH_{total} \left(\frac{m^3}{ano} \right) = PH_a + PH_i + PH_p + PH_s \quad (01)$$

Em que: PH_{total} = Pegada Hídrica Total da Sub-bacia do Alto Piranhas no Sertão Paraibano; PH_a = Pegada Hídrica do Abastecimento Urbano e Rural da água; PH_i = Pegada Hídrica da agricultura irrigada; PH_s = Pegada Hídrica dos esgotos produzidos por cada município que lançam efluentes na sub-bacia; PH_p = Pegada Hídrica da pecuária.

Para obter a pegada hídrica individual de cada setor, que é indispensável para o cálculo total, foi necessário coletar dados inerentes a cada área considerada. No abastecimento foi encontrada a utilização de água azul e verde, e para tanto, realizou-se a coletar dados diferenciados para o cálculo de cada tipo de água. Para obtenção da pegada verde de cada município utilizou-se a seguinte equação 02.

$$PH_{verde} = Q \times CA \quad (02)$$

Sendo: PH_{verde} = Pegada verde do setor do abastecimento; Q = Quantidade de cisternas; CA = Capacidade de armazenamento da cisterna;

No setor de saneamento, para calcular o volume de esgoto não tratado que é lançado nos rios, foi utilizado o valor de consumo per capita de água do município e o percentual da população que não é atendida pela rede de esgotamento sanitário. A pegada hídrica cinza total (PH_{cinza}) do saneamento foi dada pela carga de poluente não tratada (L_{trat}) dividida pela diferença entre a concentração máxima permitida (C_{max}) e a concentração média natural do poluente (C_{nat}) selecionado (HOEKSTRA et al., 2011), segundo a equação 03.

$$PH_{cinza} \left(\frac{m^3}{ano} \right) = \frac{L_{trat}}{(C_{max} - C_{nat})} \quad (03)$$

Na agricultura irrigada, foi avaliada a água verde e azul de modo que corresponde ao total de água da chuva que sofre evapotranspiração (dos campos e plantações). Sendo assim, a evapotranspiração de água verde (ET_{verde}), ou em outras palavras, a evapotranspiração de água da chuva, pode ser definida, de acordo com o Manual de Avaliação da Pegada Hídrica (HOEKSTRA et al., 2011), como o valor mínimo entre a evapotranspiração total da cultura (ET_c), e a precipitação efetiva (P_{efet}) e será igual a zero quando esta exceder a evapotranspiração da cultura, conforme a equação 04.

$$ET_{verde} = \min(ET_c, P_{efet}) \quad (04)$$

A evapotranspiração de água azul, ou evapotranspiração da água irrigada no campo, é igual à evapotranspiração total da cultura menos a precipitação efetiva, e será igual a zero quando esta exceder a evapotranspiração da cultura, de acordo com a equação 05.

$$ET_{azul} = \min(0, ET_c, P_{efet}) \quad (05)$$

No setor da pecuária, com base nas informações do número de cabeças por rebanho (n° de cabeças) em cada município da sub-bacia, calculou-se a pegada hídrica azul de cada rebanho para cada município abastecido pela sub-bacia, considerando consumo per capita (l/dia), através da equação 06.

$$Ph_{azul} = n^\circ \text{ de cabeças} \times CA \quad (06)$$

Com relação à sustentabilidade da pegada hídrica dentro de uma bacia hidrográfica, esta pode ser analisada sob três perspectivas: ambiental, social e econômica. Para entender o significado da magnitude da pegada hídrica é necessário compará-la com os recursos hídricos disponíveis, sendo assim, a avaliação da sustentabilidade da pegada hídrica desta pesquisa foi feita de acordo com a demanda, disponibilidade de água e as vazões naturais da região. A sustentabilidade ambiental exige que a qualidade da água permaneça dentro de padrões pré-definidos e que a quantidade respeite a vazão ambiental mínima. A sustentabilidade social demanda uma quantidade mínima de água doce direcionada às necessidades básicas do homem. Do ponto de vista da sustentabilidade econômica, a água precisa ser distribuída e utilizada de forma eficiente, em que os benefícios do uso para determinado fim superem os custos associados.

Portanto, a avaliação da sustentabilidade da Pegada Hídrica Azul foi realizada por meio dos indicadores de escassez de água mensal e anual (EA_{azul}). Estes foram obtidos a partir da razão entre o valor da pegada e a disponibilidade de água (DA_{azul}) ao longo do mês. Segundo o Manual de Avaliação da Pegada Hídrica (HOEKSTRA et al., 2011), a escassez de água azul em uma bacia é definida pela razão entre a soma das pegadas hídricas azuis totais na bacia e a disponibilidade de água azul, conforme equação 07:

$$EA_{azul}[x,t] = \sum PH_{azul}[x,t] \div DA_{azul}[x,t] \quad (07)$$

Para a avaliação da sustentabilidade da Pegada Hídrica Cinza, o indicador local utilizado foi o nível de poluição da água (NPA), segundo a equação 08.

$$NPA[x,t] = \sum PH_{cinza}[x,t] - Q_{real}[x,t] \quad (08)$$

Esse nível de poluição em uma bacia hidrográfica, em um determinado período de tempo, pode ser definido como a relação entre a vazão natural (Q_n), menos a sua demanda de vazão ambiental, que, neste caso, foi considerada a $Q_{90\%}$, que é vazão com 90% de garantia.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Pegada Hídrica Azul do abastecimento foi calculada com base em dados fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), como também pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA) e dados do Sistema Nacional de Informações sobre saneamento (SNIS 2014), através de informações a respeito da quantidade de habitantes no ano de 2015, a cota per capita (litro/habitante.dia). Salienta-se que o consumo médio per capita é a média diária por indivíduo dos volumes de água utilizados para satisfazer os consumos domésticos, comercial, público e industrial (SNIS 2014), as perdas da rede de abastecimento também foram consideradas e o plano de racionamento das cidades (dias com água disponível e dias sem água). Com esses dados foi possível estimar o volume de água azul consumido pelo setor de abastecimento. Assim sendo, para obtenção da pegada hídrica azul total do setor de abastecimento foi necessário calcular primeiramente a pegada azul de cada cidade abastecida pela sub-bacia, considerando as informações descritas acima para cada município (Tabela 1).

Tabela 1. Pegada hídrica azul de cada município da Bacia do Alto-Piranhas no ano de 2015 em m^3 /ano.

Municípios	Pegada hídrica azul
Sousa	3.149.500,95
São José de Piranhas	913.246,36
Nazarezinho	334.893,61
Marizópolis	298.466,26
Cajazeiras	2.811.266,64
Bonito de Santa Fé	534.694,85
São José da Lagoa Tapada	350.086,92
Carrapateira	119.029,55

Por se tratar de consumo de água superficial, a Pegada Hídrica do abastecimento urbano e rural foi classificada como água azul. Para obter a pegada azul do abastecimento, somaram-se todos os resultados da tabela 1, considerando que no ano de 2015 houve 102 dias sem água em decorrência do plano de racionamento. Sendo assim, a Pegada Hídrica total do abastecimento foi de 8.511.185,16 m^3 /ano.

Foi calculada a pegada verde no abastecimento, uma vez que a maioria das cidades consideradas possui um número significativo de cisternas que captam água das chuvas. Para calcular a pegada hídrica verde do abastecimento foi realizada a coleta da quantidade de cisternas de cada cidade, como também a sua capacidade média de armazenamento de água (Tabela 2).

Tabela 2. Pegada hídrica verde de cada município da Bacia do Alto-Piranhas no 2015 em m^3 /ano.

Municípios	Pegada hídrica verde
Sousa	12.928,00
São José de Piranhas	11.344,00
Nazarezinho	6.784,00
Marizópolis	0
Cajazeiras	5.328,00
Bonito de Santa Fé	5.856,00
São José da Lagoa Tapada	7.840,00
Carrapateira	368,00

Fonte: observatório da seca, SECEX/MDS e dados da pesquisa (2016)

Para obter a pegada hídrica total verde, somou-se o resultado das cidades descrito na tabela 02, por se tratar de um indicador de uso da água verde por parte do homem e por ser um volume de água da chuva consumido durante o processo de produção. Sendo assim, a PHverde total do abastecimento foi de 50.448,00 m^3 /ano.

A pegada hídrica do setor de saneamento envolve apenas a componente cinza, pois se refere somente à coleta e ao tratamento de esgoto doméstico dos municípios que lançam efluentes na sub-bacia analisada. Na região estudada não há tratamento de esgoto, portanto, foram considerados os dados de esgotos não tratados. Para o cálculo da pegada cinza desse setor foram considerados a população do ano de 2015, cota per capita (litro/habitante.dia), perdas da rede de abastecimento, plano de racionamento (dias com água e dias sem água), a vazão média de esgoto (m^3 /ano), concentração média padrão dos esgotos (Kg/m^3), carga poluente do esgoto não tratado (kg /ano), concentração média natural (kg/m^3) e a concentração máxima permitida (kg/m^3).

Para calcular o volume de esgoto não tratado que é lançado nos rios, foi utilizado o valor de consumo per capita de água do município e o percentual da população que não é atendida pela rede de esgotamento sanitário. Com todos esses dados, pôde-se obter a pegada hídrica cinza do setor de saneamento de cada cidade. Ressalta-se que foram considerados os municípios que geram efluentes na sub-bacia do Alto-Piranhas (Tabela 3).

Tabela 3. Pegada hídrica cinza de cada município da Bacia do Alto-Piranhas no ano de 2015 em m^3 /ano.

Municípios	Pegada hídrica cinza
São José de Piranhas	54.038.246,13
Nazarezinho	19.816.189,88
Bonito de Santa Fé	31.638.748,64
Carrapateira	7.043.168,88
Monte Horebe	12.886.751,52
São José da Lagoa Tapada	20.788.315,07
São Domingos de Pombal	8.288.788,91
Aparecida	22.375.126,67
Marizópolis	17.660.725,66

Para tanto, o resultado total da pegada hídrica cinza total dos esgotos domésticos não tratados se deu com a soma dos resultados expostos na tabela 3, sendo assim, a pegada cinza total de 194.536.061,36 m^3 /ano.

O setor agrícola apresenta dois componentes da pegada hídrica, pois as culturas agrícolas interceptam água da chuva e a absorvem por suas raízes (PHverde) e demandam água para irrigação (PHazul), sendo importante ressaltar que o sistema

utilizado para irrigação na região do alto curso do rio Piranhas é a inundação. Nesse setor não foi considerado a componente cinza, uma vez que na região não se observou relatos de transporte de fertilizantes e defensivos agrícolas.

A estimativa da PHverde e PHazul da atividade agrícola foi obtida por meio do cálculo da demanda hídrica das

culturas permanentes e temporais cultivadas na região, o qual relaciona os dados de evaporação média mensal, o coeficiente de cultivo das culturas e a precipitação efetiva mensal. Na tabela 4 observa-se o calendário agrícola das culturas permanentes e temporais práticas e sugeridas para região.

Tabela 4. Coeficiente de cultivo das culturas na Bacia do Alto-Piranhas, Paraíba

Culturas	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Manga	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Coco	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Goiaba	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Caju	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Banana	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Arroz (s-es)	0	1,05	1,2	1,2	0	0	0	1,05	1,2	1,2	0	0
Batata (s-es)	0	0,5	0,8	1,2	0,75	0	0	0,4	1,25	1,25	0,75	0
Mandioca	0	0,4	0,98	0,69	0	0	0	0,4	0,98	0,69	0	0
Milho	0	0,7	1,1	0,95	0,95	0	0	0,7	1,1	0,95	0,95	0
Cana-de-açúcar	0	0,4	1,25	1,25	0,75	0	0	0,4	1,25	1,25	0,75	0
Algodão	0	0,5	0,8	1,25	0,9	0	0	0,5	0,8	1,25	0,9	0
Feijão	0,7	1,1	0,9	0	0	0	0	0,7	1,1	0,9	0	0
Tomate	0	0,5	0,6	1,15	0,8	0	0	0,5	0,6	1,15	0,8	0
Sorgo	0	0,4	0,75	1,1	0,8	0	0	0,4	0,75	1,1	0,8	0

Fonte: Engenharia de irrigação: hidráulica dos sistemas pressurizados. Aspersão e gotejamento (Gomes, 1999); Embrapa, tropical 2016.

Os dados de evaporação média mensal para os dois reservatórios da Bacia do Alto-Piranhas, foram alcançados através de tanques classe A dos postos climatológicos situados nos arredores do açude de São Gonçalo, onde se utilizou um coeficiente de correção de 0,75, conforme a tabela 5. As maiores taxas evaporimétricas correspondem,

respectivamente, aos trimestres outubro-dezembro e março-maio.

Para o cálculo da precipitação efetiva (Pefet) levou-se em consideração a precipitação média mensal do posto pluviométrico do distrito de São Gonçalo (Tabela 6).

Tabela 5. Evaporação Mensal Média em São Gonçalo na Bacia do Alto-Piranhas, Paraíba (mm).

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
182,6	157,2	141,6	136	144,8	144,9	168,6	200,1	215,9	223,2	216,2	205,9

Fonte: SUDENE, 1990. ANA 2016; AESA 2016.

Tabela 6 - Precipitação Mensal Média em São Gonçalo na Bacia do Alto-Piranhas, Paraíba (mm).

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
96	176	247,2	175,6	68,8	34,5	15,8	5,6	4,5	11,6	18,5	41,1

Fonte: SUDENE, 1990. ANA 2016; AESA 2016.

Como a pegada verde é o volume da água da chuva que fica armazenada no solo. Na tabela 7 observa-se os resultados quanto à pegada verde da agricultura irrigada para as diferentes culturas consideradas no plano agrícola.

Assim a Pegada Hídrica Verde Total (m³/ano) da agricultura irrigada é de 31.924.944,60. Vale ressaltar que esse valor da pegada hídrica é dado considerando a irrigação em pleno funcionamento. A evapotranspiração de água azul, ou a evapotranspiração da água irrigada no campo, é igual à evapotranspiração total da cultura menos a precipitação efetiva, e será igual a zero quando esta exceder a evapotranspiração da cultura.

A Pegada Hídrica Azul Total na agricultura irrigada, que é o volume de água que deve ser aplicada, ou seja, é o volume de água complementar a ser aplicada, Verifica-se na tabela 8, em que a Pegada Hídrica Azul Total (m³/ano) da agricultura irrigada é de 76.528.860,60, destaca-se o valor da pegada hídrica azul total considerando que a irrigação esteja funcionando na sua plenitude.

Tabela 7. Pegada hídrica verde da irrigação na Bacia do Alto-Piranhas no ano de 2015 em m³/ano.

Culturas	Total (m/ano)	Área Plantada (ha)	Área Plantada (m ²)	Pegada Hídrica Verde (m ³ /ano)
Manga	0,45	19	190.000	85.009
Coco	0,43	1.171	11.710.000	5.076.753
Goiaba	0,41	22	220.000	91.058
Caju	0,37	35	350.000	129.647
Banana	0,48	237	2.370.000	1.143.335
Arroz (s-es)	0,40	139	1.390.000	557.668,00
Batata (s-es)	0,34	62	620.000	210.639
Mandioca	0,30	25	250.000	73.872
Milho	0,41	3.468	34.680.000	14.345.728
Cana-de-açúcar	0,38	105	1.050.000	402.675
Algodão	0,34	12	120.000	40.769
Feijão	0,30	3.298	32.980.000	9.730.419
Tomate	0,31	12	120.000	37.370

Tabela 8 - Pegada hídrica azul da irrigação na Bacia do Alto-Piranhas no ano de 2015 em m³/ano.

Culturas	Total (m/ano)	Área Plantada (ha)	Área Plantada (m ²)	Pegada Hídrica Azul (m ³ /ano)
Manga	1,26	19	190.000	239.814
Coco	1,17	1.171	11.710.000	13.691.449
Goiaba	1,08	22	220.000	238.040
Caju	0,91	35	350.000	319.123
Banana	1,65	237	2.370.000	3.921.354
Arroz (s-es)	0,83	139	1.390.000	1.159.267
Batata (s-es)	0,83	62	620.000	512.554
Mandioca	0,45	25	250.000	111.407
Milho	0,91	3.468	34.680.000	31.693.705
Cana-de-açúcar	0,93	105	1.050.000	972.347
Algodão	0,90	12	120.000	107.857
Feijão	0,71	3.298	32.980.000	23.467.908
Tomate	0,78	12	120.000	94.033

A pegada hídrica da pecuária foi calculada com base nas informações do rebanho fornecidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Foram coletadas informações a respeito do número de cabeças por município abastecido pela sub-bacia, o peso médio de cada tipo de animal e o consumo de água por dia. Com essas informações, calculou-se a Pegada Hídrica azul e verde da atividade. Assim para o cálculo da água azul, foi utilizado o peso médio dos rebanhos considerados para a região e o consumo de água por cabeça de bovinos, equinos, suínos, caprino, ovinos, galináceos e vacas (Tabela 9).

Tabela 9. Peso médio dos rebanhos e consumo hídrico na Bacia do Alto-Piranhas, Paraíba

Categorias	Peso Médio (kg)	Consumo de água (litro/dia)
Bovino	200	20
Equino	380	18
Suíno	161,59	5
Caprino	50	3
Ovino	60	3
Galináceos	2,53	0,23
Vacas ordenhadas	200	25

Fonte: Emater (2016) e Embrapa (2016).

Com base nas informações da tabela 9 e ainda com o número de cabeças por rebanho em cada município, calculou-se a pegada hídrica azul de cada rebanho e por município. Na tabela 10 verifica-se o valor da pegada hídrica azul por município, em que, para a obtenção do valor total da pegada azul, somou-se todos os valores totais de cada cidade que também se deu através da soma de todas as pegadas hídricas dos rebanhos de cada município.

Tabela 10. Pegada hídrica azul da pecuária na Bacia do Alto-Piranhas no ano de 2015 em m³/ano.

Municípios	Pegada hídrica azul
Sousa	242.358
São José de Piranhas	178.590
Nazarezinho	67.846
Marizópolis	16.802
Cajazeiras	180.574
Bonito de Santa Fé	75.478
São José da Lagoa Tapada	80.608
Carrapateira	22.825
Pegada Hídrica Azul Total da Pecuária	865.082

Para o cálculo da água verde, foram coletadas informações a respeito da ingestão diária de silagem pelo rebanho. Esses dados foram fornecidos pela EMBRAPA e pela EMATER (2016) (Tabela 11).

Tabela 11. Consumo médio dos rebanhos e tipo de silagem na Bacia do Alto-Piranhas

Categoria	Consumo médio de alimentos kg/cabeça/dia	Tipo de silagem
Bovino	15	Capim
Equino	7	Capim
Suíno	3,2	Milho
Caprino	2,94	Milho
Ovino	2,92	Milho
Galináceos	0,13	Milho
Vacas ordenhadas	20,6	Capim

Fonte: Embrapa e Emater (2016)

Para o volume de água em m³/ano utilizada na produção da silagem para o consumo dos animais, foi considerada a produtividade do milho e do capim sorgo (ton/ha), como também o consumo total por animal das categorias (ton/ano) e a área a ser plantada (ha), conforme verifica-se na tabela 12.

Tabela 12. Tipos de silagem consumida na pecuária da Bacia do Alto-Piranhas

Silagem	Produtividade (ton/ha)	Consumo total (ton/ano)	Área a ser plantada	Volume de água (m ³ /ano)
Milho	35	49.183	1.405	7.483.744
Capim	70	613.122	8.759	38.059.080

Fonte: Aspersão e gotejamento (Gomes 1999).

Para obtenção dos dados da tabela 12 foi considerado a evaporação mensal média do milho e do capim, como também o seu coeficiente de cultivo e a evaporação real de cada cultura através de dados disponibilizados pela SUDENE (1990), ANA (2016) e AESA (2016). Para tanto, somando-se o volume de água utilizada para produção do milho e para a produção do capim, pode-se obter o valor da pegada hídrica verde total da pecuária no ano de 2015, sendo de 45.542.824.

Após a contabilização das pegadas hídricas de cada setor, abastecimento, saneamento, agricultura e pecuária, pode-se obter o valor da pegada hídrica total da sub-bacia do Alto Piranhas no sertão paraibano no ano de 2015. O cálculo da pegada hídrica total de uma bacia hidrográfica é feito por meio do somatório de todas as estimativas dos componentes azul, verde e cinza dos principais setores usuários de água nas bacias. Dessa forma, na tabela 13 verifica-se detalhadamente o valor de cada setor por tipo de água e ao final a soma de todos para obtenção do resultado final.

Tabela 13. Pegada hídrica total da Bacia do Alto-Piranhas no ano de 2015 em m³/ano

Setores da água Considerados	Azul (m ³ /ano)	Verde (m ³ /ano)	Cinza (m ³ /ano)
Abastecimento Humano	8.511.185	50.448,00	-
Pecuária	865.082	45.542.824	-
Agricultura Irrigada	3.836.443	1.596.247	-
Saneamento	-	-	194.536.061
Pegada Hídrica Total	13.212.710	47.189.519	194.536.061
Pegada Hídrica da Sub-bacia do Alto Piranhas		254.938.290 (m ³ /ano)	

Analisando a sub-bacia no ano de 2015 como um todo, não é possível considerá-la como insustentável, ficando classificada como aceitável dentro dos parâmetros estabelecidos no Manual de Avaliação da Pegada Hídrica (HOEKSTRA et al., 2011). Porém, em alguns meses do ano, levando em consideração a seca, a demanda se torna superior à disponibilidade hídrica, prejudicando assim, os setores que necessitam de uma oferta hídrica constante. Pelo fato da sub-bacia apresentar durante esses meses um nível de insustentabilidade, recomenda-se, portanto, aumentar a eficiência na captação de água e evitar eventuais perdas no sistema de distribuição, como também, incentivar a redução do consumo per capita, principalmente nos períodos de seca anuais da região e promover a utilização de tecnologias que permitam a reutilização da água.

Com o valor da pegada hídrica da sub-bacia foi projetada a pegada hídrica a médio e longo prazo, de maneira a estimar como seria o valor da pegada hídrica nos anos de 2022 e 2032. O cálculo foi realizado da mesma forma, porém, com um número de informações projetadas ao longo dos anos, considerando que a demanda pelos recursos hídricos continue da mesma forma, desde que não haja uma mudança no consumo da sub-bacia. Na Tabela 14 observa-se a estimativa para o ano de 2022 e na tabela 15 as projeções para o ano de 2032.

Tabela 14. Estimativa da pegada hídrica total na Bacia do Alto-Piranhas para o ano de 2022 em m³/ano.

Setores da água Considerados	Azul (m ³ /ano)	Verde (m ³ /ano)	Cinza (m ³ /ano)
Abastecimento Humano	11.845.848	50.448	-
Pecuária	951.591	45.542.824	-
Agricultura Irrigada	35.117.439	84.181.746	-
Saneamento	-	-	199.280.248
Pegada Hídrica Total	47.914.878	129.775.018	199.280.248
Pegada Hídrica da Sub-bacia do Alto Piranhas	376.970.146 (m ³ /ano)		

Tabela 15. Estimativa da pegada hídrica total na Bacia do Alto-Piranhas para o ano de 2032 em m³/ano.

Setores da água Considerados	Azul (m ³ /ano)	Verde (m ³ /ano)	Cinza (m ³ /ano)
Abastecimento Humano	12.101.972	76.472	-
Pecuária	1.297.624	45.542.824	-
Agricultura Irrigada	114.793.290	47.887.417	-
Saneamento	-	-	205.597.708
Pegada Hídrica Total	128.192.887	93.506.712	205.597.708
Pegada Hídrica da Sub-bacia do Alto Piranhas	427.297.309 (m ³ /ano)		

De acordo com as projeções feitas, observa-se que caso não houver uma diminuição do consumo hídrico e um planejamento adequado para que ocorra uma utilização eficaz dos recursos hídricos, a pegada hídrica irá aumentar a cada ano, chegando a uma situação de insustentabilidade da sub-bacia. Portanto, faz-se necessário aumentar a eficiência na

captação de água e evitar eventuais perdas no sistema de distribuição, como também, incentivar a redução do consumo per capita, principalmente nos períodos de estiagem anuais da região, e, além disso, promover a utilização de tecnologias que permitam a reutilização da água, incentivar pesquisas que possam sempre buscar a análise da situação hídrica da região, bem como estudar formas de remediar os problemas gerados pela falta de água.

Nas Figuras 2 e 3 verifica-se a sustentabilidade quando considerado a pegada hídrica azul (nível de escassez) e pegada cinza (nível de poluição) da sub-bacia estudada. A pegada azul dentro de um período específico torna-se um ponto crítico quando a partir do momento em que excede a disponibilidade de água azul.

Figura 2. Sustentabilidade com a Pegada Azul da Bacia do Alto-Piranhas

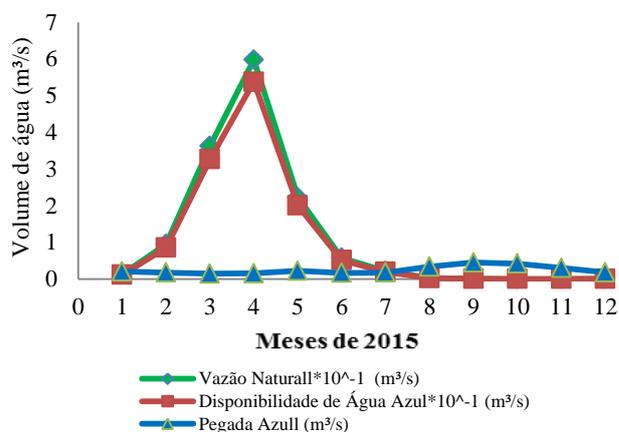
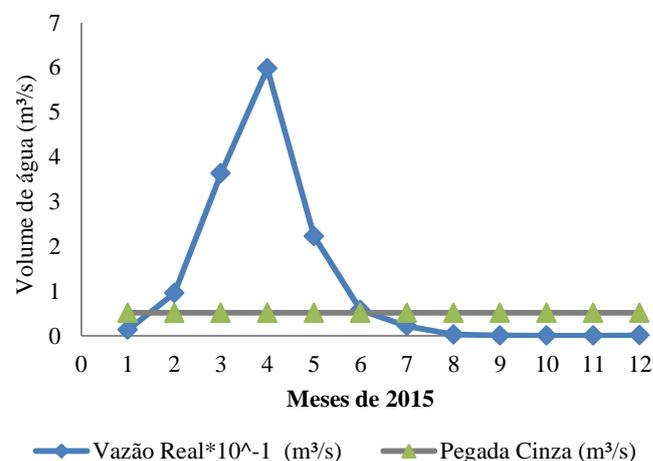


Figura 3. Sustentabilidade com a Pegada Cinza da Bacia do Alto-Piranhas



De acordo com a figura 2, a demanda de água total não supera a disponibilidade de água, porém, nos meses após agosto há uma pegada azul maior do que a disponibilidade de água que a sub-bacia oferece, então surge as situações em que os municípios passam por problemas no abastecimento de água, tendo que adotar o racionamento, onde, em casos mais críticos, utilizam de carros pipas. A disponibilidade de água vai diminuindo gradativamente e se agravando nos últimos meses do ano, coincidindo com o regime pluviométrico da região estudada. Pode-se observar ainda na figura 2 que nos meses de fevereiro a junho a quantidade de água disponível é abundante, sendo assim, deve ser utilizado esse período para efetuar ações com objetivo de distribuir o uso de água de

forma eficiente, para que nos últimos meses do ano não ocorram dificuldades quanto à disponibilidade de água.

O efeito da pegada hídrica cinza total depende do escoamento disponível na sub-bacia para assimilar seus efluentes. Nota-se na figura 3, que em um período específico a sub-bacia passa por meses críticos, quando os padrões de água em seu estado natural são violados, ou seja, a capacidade de assimilação de resíduos foi totalmente consumida. Nos últimos meses do ano a pegada cinza é maior que a vazão real da sub-bacia.

Os resultados podem ser usados para o planejamento de uso eficiente da água, bem como alertar principalmente a população, empresas e gestores ambientais sobre a quantidade de água que está sendo utilizada nos diversos setores, e onde pode ser reduzido e controlado o consumo de água para que não haja escassez dos recursos hídricos, posto que, é um bem imprescindível para a vida na terra, para produção de bens, serviços, enfim, praticamente toda atividade humana.

CONCLUSÕES

Na Bacia do Alto-Piranhas, os setores que mais demandam água são os do abastecimento, na água azul e da agricultura irrigada na água verde.

REFERÊNCIAS

AESA, AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA. Plano Estadual de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Piancó-Piranhas-Açu. Resumo Estendido. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Brasília-DF, 2016.

ANA, AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu / Agência Nacional de Águas. -- Brasília: ANA, 2016.

ALBUQUERQUE, M. F.; Medições e Modelagem da Pegada Hídrica da Cana-DeAçúcar Cultivada no Brasil; Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG); Campina Grande-PB, 2013.

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

CAGEPA, COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTOS DA PARAÍBA. Consumo médio per capita e perdas da rede de abastecimento. Registros *In loco*, 2016.

EMATER, EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL. Consumo médio de água e alimentos por categoria animal. Registros *In loco*, 2016.

EMBRAPA, EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Consumo médio de água e alimentos por categoria animal. Registros *In loco*, 2016.

EMPINOTTI, V. L.; JACOBI, P. R.; Novas práticas de governança da água? O uso da pegada hídrica e a transformação das relações entre o setor privado, organizações ambientais e agências internacionais de desenvolvimento; *Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v. 27, p. 23-36, 2013.

HOEKSTRA, A. Y; CHAPAGAIN, A. K.; The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives. *Ecological Economics*, v.70, p 749-758, 2011.

HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K.; ALDAYA, M. M.; MEKONNEN; M. M. Manual de Avaliação da Pegada Hídrica: estabelecendo o Padrão Global; Tradução para português. 2011.

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico de 2010. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/>

LEÃO, R. de S.; Pegada Hídrica: Visões e Reflexões Sobre sua Aplicação; *Revista Ambiente & Sociedade* n São Paulo v. XVI, n. 4 p. 159-162, 2013.

LIMA, A. J. R.; Governança dos recursos hídricos: proposta de indicador para acompanhar sua implementação. São Paulo: WWF - Brasil: FGV, 2014.

MARACAJÁ, K. F. B.; ARAÚJO, L. E.; SILVA, V. de P. R.; Regionalização da Pegada hídrica no Estado da Paraíba. *Revista de Administração, Contabilidade e Sustentabilidade*. Vol.4, nº 1, p. 105-122, 2014.

PAB, Programa Água Brasil; Pegada Hídrica de Bacias Hidrográficas; Iniciativa da Agência nacional de Águas, Fundação Banco do Brasil e WWF-Brasil, 2014.

SNIS, SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2014. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2016.

SOUZA, A. C. M.; SILVA, M. R. F. da; DIAS, N. da S. Gestão de recursos hídricos: o caso da bacia hidrográfica Apodi/Mossoró (RN). *Irriga, Botucatu, Edição Especial*, p. 280 - 296, 2012.

SUDENE, SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. Dados Pluviométricos Mensais do Nordeste – Série Pluviometria 5. Estado da Paraíba. Recife, 239p. 1990.