

AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL DA PEGADA HÍDRICA TOTAL NA SUB-BACIA DO RIO PIANCÓ LOCALIZADO NO SEMIÁRIDO NORDESTINO

EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL DE LA HUELLA HÍDRICA TOTAL EN LA SUBCUENCA DEL RÍO PIANCÓ UBICADA EN REGIÓN SEMIÁRIDA DEL NORESTE

ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY ASSESSMENT OF TOTAL WATER FOOTPRINT IN PIANCÓ RIVER SUB-BASIN LOCATED IN NORTHEASTERN SEMI-ARID REGION

José Abrantes de Sá Neto¹; Allan Sarmiento Vieira²; Isabel Lausanne Fontgalland³; Tayrane Gonçalves de Andrade Bélem⁴; Lunara Raquel Paz Silva⁵; Luanda Mendes de Moraes⁶; Valdeci Rodrigues de Araújo Filho⁷ e Saymon Bezerra de Sousa Maciel⁸

1. Graduado em Ciências Contábeis pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)
2. Engenheiro Civil, Professor Doutor da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)
3. Economista, Pós-Doutora em Economia pela Ohio University-OH - Professora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)
4. Bacharel em Direito pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)
5. Graduanda de Administração da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)
6. Bacharel em Direito pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)
7. Bacharel em Direito pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB)
8. Mestre em Sistemas Agroindustriais pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

PALAVRAS-CHAVE

Recursos hídricos; Pegada hídrica; Sustentabilidade ambiental.

PALABRAS CLAVE

Recursos hídricos; Huella hídrica; Sostenibilidad ambiental.

KEY WORDS

Water resources; Water footprint; Environmental sustainability.

RESUMO

O objetivo principal desta pesquisa é analisar a sustentabilidade ambiental através da pegada hídrica total na sub-bacia do Rio Piancó-PB, para o ano de 2017. Para tanto, a estimativa da pegada hídrica total na sub-bacia foi realizada por meio do somatório de todas as estimativas dos componentes azul, verde e cinza dos principais setores usuários de água. Posteriormente, a sustentabilidade da pegada

hídrica na sub-bacia foi analisada sob a perspectiva ambiental, através dos indicadores de escassez da água recomendados pelo Manual de Avaliação da Pegada Hídrica. De acordo com os resultados, ficou evidente que a agricultura irrigada e o saneamento são os setores que exercem a maior pressão sobre os recursos hídricos da sub-bacia do Rio Piancó. No que se refere à sustentabilidade, da pegada hídrica na sub-bacia em 2017, esta apresentou-se sustentável relativa à escala anual, porém, entre os meses de julho a dezembro do corrente ano, a sub-bacia apresentou índices de escassez e poluição insustentáveis, devido à diminuição das vazões naturais, ocasionada principalmente pela irregularidade pluviométrica da região. Contudo, o mapeamento da pegada hídrica e de sua sustentabilidade na sub-bacia do Rio Piancó-PB, irá 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.

RESUMEN

El objetivo principal de esta investigación es analizar la sostenibilidad ambiental a través de la huella hídrica total en la subcuenca del río Piancó-PB, para el año 2017. Para ello, la estimación de la huella hídrica total en la subcuenca se realizó mediante la suma de todas las estimaciones de los componentes azul, verde y gris de los principales sectores usuarios de agua. Posteriormente, se analizó la sostenibilidad de la huella hídrica en la subcuenca desde una perspectiva ambiental, a través de los indicadores de escasez de agua recomendados por el Manual de Evaluación de la Huella Hídrica. De acuerdo con los resultados, se puso de manifiesto que la agricultura de regadío y el saneamiento son los sectores que ejercen mayor presión sobre los recursos hídricos de la subcuenca del río Piancó. En cuanto a la sostenibilidad, la huella hídrica en la subcuenca en 2017 se presentó como sostenible en relación con la escala anual, sin embargo, entre los meses de julio y diciembre del presente año, la subcuenca presentó índices de escasez y contaminación insostenibles, debido a la disminución de los caudales naturales, causados principalmente por la irregularidad de las lluvias en la región. Sin embargo, el mapeo de la huella hídrica y su sustentabilidad en la subcuenca del río Piancó, PB, subsidiará al gestor público en una toma de decisiones acertada y consecuentemente promoverá el fortalecimiento del Sistema de Gestión de Recursos Hídricos que busca una gobernanza sustentable.

ABSTRACT

The main objective of this research is to analyze the environmental sustainability of the total water footprint in the sub-basin of the Piancó/PB River, for the year 2017. For this purpose, the estimation of the total water footprint in the sub-basin was done by summing all estimates of the blue, green and gray components of the main water-using sectors. Subsequently, the sustainability of the water footprint in the sub-basin was analyzed from an environmental perspective, through the indicators of water scarcity recommended by the Water Footprint Assessment Manual. According to the results, it was evident that irrigated agriculture and sanitation are the sectors that exert the greatest pressure on water resources in the sub-basin. With regard to the sustainability of the water footprint in the sub-basin in 2017, it was sustainable on an annual scale, but between the months of July and December, the sub-basin presented unsustainable scarcity and pollution indices, due to the decrease in natural flows, caused mainly by the irregularity of rainfall in the region. However, the mapping of the water footprint and its sustainability in the sub-basin of the Piancó/PB Rive, will subsidize the public manager in an accurate decision making and consequently promote the strengthening of the Water Resources Management System that seeks sustainable governance.

1 INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos são um dos assuntos ambientais mais discutidos na atualidade, nas diversas áreas do conhecimento. A preocupação com a água torna-se mais evidente à medida em que a população cresce juntamente com o aumento da demanda. Dessa forma, o uso desse recurso natural e essencial para vida está ocorrendo de maneira descontrolada pelos diferentes setores da sociedade, como a indústria, a agricultura, o consumo doméstico, dentre outros. Em paralelo a essas práticas insustentáveis, se têm ainda o problema da poluição, que vem aumentando de forma descontrolada, tornando os recursos hídricos mais escassos não apenas em quantidade, mas também em relação a sua qualidade (SANTIN; GOELLNER, 2013).

Para Ferreira (2014) vários fatores influenciam na redução da disponibilidade hídrica, dentre os quais, podem-se citar: efeitos naturais (altas taxas de evaporação e baixas precipitações), atividades humanas (gerando degradação do meio ambiente a base da poluição) e o aumento da demanda por água. Para tanto, o estresse hídrico é observado principalmente em regiões onde há pouca disponibilidade natural de água, e uma grande requisição para uso e para diluição dos dejetos das atividades industriais.

Data venha a escassez de água ser uma preocupação crescente e vem requisitando uma análise criteriosa e de forma contínua, sendo que nesta última década do milênio, se destacam os incentivos de estudos multicritério do entorno da distribuição e consumo. Hoekstra et al. (2012) por exemplo, analisaram o consumo hídrico em 405 bacias hidrográficas em todo o mundo, e constataram que em 201 bacias, aproximadamente 2,7 bilhões de pessoas, com aproximadamente 2,7 bilhões de habitantes. Pode observar que a escassez de água azul, numa escala mensal, em nível de bacia hidrográfica, considerou não o volume de água retirado, mas sim, o volume de água consumido.

Sabe-se que pegada azul ou água azul é definido pelo volume de água consumido numa determinada região nas suas atividades. Já a pegada verde ou água verde é definido pelo volume de água que fica retido no solo de uma determinada região e a pegada cinza ou água cinza é o volume de água necessário para diluir uma determinada carga poluidora de uma determinada região.

Na tentativa de mitigar o desequilíbrio existente entre a humanidade e os recursos naturais, a inclusão de indicadores de sustentabilidade se torna cada vez mais necessária como ferramenta de avaliação do uso correto desses recursos. Nesse contexto, a pegada hídrica (PH) surge como um importante indicador de sustentabilidade com a finalidade de quantificar e qualificar o volume de

água utilizado no desenvolvimento das atividades humanas nos diferentes setores da sociedade (MARACAJÁ et al., 2012).

Segundo Hoekstra e Chapagain (2011), a pegada hídrica pode ser conceituada como um indicador amplo que considera a medida usual de apropriação, como também, os níveis de escassez, ou seja, um indicador de medida das ações humanas sobre os recursos hídricos, que considerada a água oculta, denominada de água virtual, que é utilizada na produção dos produtos e serviços numa bacia hidrográfica. Para tanto, conceito de água virtual foi introduzido por Allan (1998) com vistas a estudar a possibilidade de importação da água contida nos produtos, como solução parcial para os problemas de escassez.

Dessa forma, a pegada hídrica atua como uma importante ferramenta de gestão para auxiliar os gestores na tomada de decisões. Vários países procuram tais mecanismos de gestão para promover o equilíbrio entre a oferta e a demanda deste recurso. Diante disso, a pegada hídrica pode ser utilizada nas estatísticas das bacias hidrográficas de um país, gerando informações que podem auxiliar na formulação de planos nacionais e regionais de recursos hídricos de acordo com as políticas públicas adotadas, melhorando assim o tempo de gestão para reduzir os conflitos diferentes usos da água (CARVALHO e BERENQUER, 2016).

Segundo Freitas (2013) apesar das bacias hidrográficas serem importantes ambientalmente e para o desenvolvimento social e econômico, muitas delas têm sofrido perturbações via poluição e poucas medidas de recuperação foram realizadas até os dias de hoje. Portanto, uma bacia hidrográfica é perfeitamente apropriada para o desenvolvimento de um plano de gestão que busque aperfeiçoar o uso dos recursos humanos e naturais através de análises com indicadores de sustentabilidade do uso da água.

Com base nesse contexto, a mensuração da pegada hídrica total e a análise da sustentabilidade do consumo de água numa bacia hidrográfica, contribuem para alavancar uma gestão e torna-la eficaz visando aumentar a capacidade de recuperação dos sistemas hídricos. Assim, o objetivo principal do presente estudo é analisar a sustentabilidade ambiental da pegada hídrica total na sub-bacia do Rio Piancó-PB, para o referente ano de 2017.

Depois de contabilizada a pegada hídrica total da sub-bacia do Rio Piancó-PB, a relevância desta pesquisa estará principalmente em identificar em uma escala mensal pontos críticos de insustentabilidade, como também o nível de disponibilidade de água no tempo e no espaço. Para tanto, é possível que o estudo e a promoção da pegada hídrica de uma bacia hidrográfica possam influenciar nos padrões de consumo e promover uma conscientização dos usuários da água. Assim, o

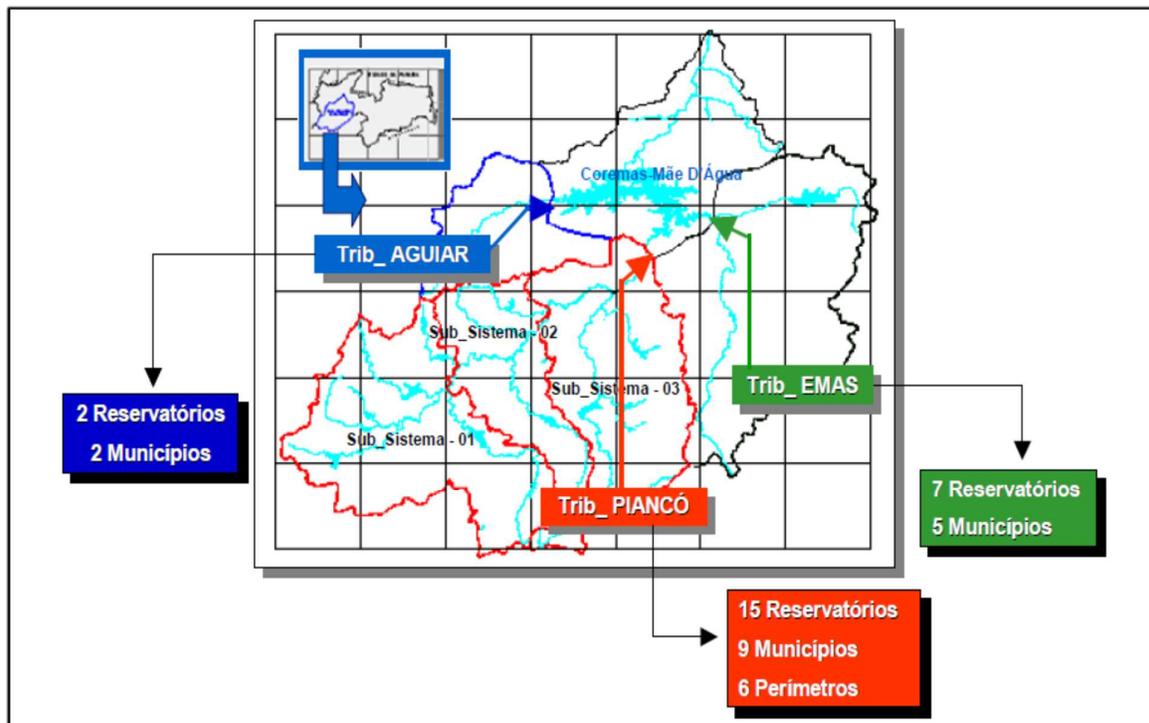
desenvolvimento do presente estudo indicará nos resultados se a relação entre oferta e demanda da água na sub-bacia do Rio Piancó-PB é sustentável ou não.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área de estudo

Situada no sertão da Paraíba, Brasil (Figura 1), região semiárida do Estado, a sub-bacia do Rio Piancó abrange uma superfície de cerca de 9.207 km², sendo uma das 7 (sete) sub-bacias do Rio Piranhas em território paraibano. A bacia possui 30 municípios sediados nos limites de sua área, totalizando juntos, aproximadamente 282.832 habitantes em 2017, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017). Segundo Lima *et al.* (2006) é uma das bacias hidrográficas com maior conflito de uso das águas. Nela está inclusa a maior reserva hídrica do Estado, formada pela interligação de dois reservatórios: o Sistema Coremas - Mãe D'Água, com capacidade para acumular 1,36 bilhões de m³.

Figura 01 - Sub-bacia do rio Piancó e seus tributários.



Fonte: Lima (2004).

De acordo com Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Piancó-Piranhas-Açu (PERH/PPA, 2016), os principais usuários de água na sub-bacia são: o abastecimento urbano e rural, a agricultura irrigada e a pecuária. Cabe destacar, que as demandas hídricas para esses setores foram estimadas considerando-se os municípios que estão inseridos totalmente e parcialmente na sub-bacia.

Com relação aos dados hidroclimáticos, a precipitação média anual observada é em torno de 821 mm e a evaporação anual é de 2993,4 mm. No Quadro 01 estão mostrados os valores médios mensais da precipitação e evaporação anual da sub-bacia estudada, coletados no posto do município de Coremas.

Quadro 01 - Precipitação e evaporação mensais, observados no posto de Coremas.

Parâmetro	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Evaporação (mm)	272,3	215,4	204,1	182,4	183,1	182,2	219,9	271,9	299,6	332,9	319,0	310,6
Precipitação (mm)	85	143	235	171	69	31	11	5	2	12	24	31

Fonte: Lima (2004)

De acordo com plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu (PERH-PB, 2016), os principais usuários de água na sub-bacia são: o abastecimento urbano e rural, a agricultura irrigada e a pecuária. Cabe destacar, que as demandas hídricas para esses setores foram estimadas considerando-se os municípios que estão inseridos totalmente e parcialmente na bacia.

2.2 Coleta de dados e modelo da pegada hídrica

Para o cálculo da pegada hídrica total na sub-bacia do Rio do Piancó, foi considerado o 2017 porque os dados estavam todos documentados e validados e além disso, por ser um dos períodos mais severo da crise hídrica que ocorreu no sertão paraibano. Foram considerados os principais usuários da água da sub-bacia do rio Piancó/PB, entre os quais foram selecionados os seguintes setores: abastecimento humano, saneamento, agricultura irrigada e pecuária. É importante lembrar que cada setor é a soma das componentes correspondente (azul e verde), com exceção do saneamento que é composta por uma única componente que é cinza. Dessa forma, a pegada hídrica total na sub-bacia

analisada foi contabilizada através da soma dos diferentes componentes da pegada hídrica azul (PH_{azul}), verde (PH_{verde}), e cinza (PH_{cinza}), para cada setor, conforme a Equação 01:

$$PH_{\text{total}} (\text{m}^3/\text{ano}) = PH_{\text{abastecimento}} + PH_{\text{pecuária}} + PH_{\text{agricultura irrigada}} + PH_{\text{saneamento}} \quad (1)$$

Em que: PH_{total} = Pegada Hídrica total da Sub-bacia do Rio Piancó-PB; $PH_{\text{abastecimento}}$ = Pegada Hídrica do Abastecimento Humano; $PH_{\text{pecuária}}$ = Pegada Hídrica da Pecuária; $PH_{\text{saneamento}}$ = Pegada Hídrica dos Esgotos gerados na própria sub-bacia.

2.2.1 Cálculo da pegada hídrica no setor do abastecimento

Com o intuito de estimar a pegada hídrica individual dos setores, o que é fundamental para o cálculo total, foi necessário a princípio, coletar dados específicos de cada setor. No setor de abastecimento, considerou-se apenas o componente azul, referente às etapas de captação, tratamento, reserva e distribuição de água, realizadas para suprir as necessidades de consumo direto dos habitantes dos municípios sediados na sub-bacia. Para tanto, segundo o PROGRAMA ÁGUA BRASIL (2014) o volume de água azul destinado a esse setor é obtido pela relação entre, a população total abastecida ($POP_{\text{abastecida}}$), o consumo médio per capita de água ($\text{cons } H_2O_{\text{per capita}}$) e o índice de perdas por distribuição ($IP_{\text{distribuição}}$), conforme a Equação 2.

$$PH_{\text{azul do abastecimento}} (\text{m}^3/\text{ano}) = (\text{cons } H_2O_{\text{per capita}} \times POP_{\text{abastecida}}) \times (1 + IP_{\text{distribuição}}) \quad (2)$$

Os dados referentes à população abastecida em 2017 nos 30 municípios com sede na sub-bacia foram coletados por meio de informação divulgadas pelo IBGE (2017). O consumo médio de água na sub-bacia e o índice médio de perdas por distribuição foram obtidos através do Sistema de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2017). Foi considerado ainda nesse setor, o volume de água azul referente à captação de água da chuva por cisternas, assim como recomendado pelo Manual de Avaliação da Pegada Hídrica. O cálculo envolveu a quantidade de cisternas na sub-bacia em 2017 e as respectivas capacidades médias de armazenamento fornecidas pelo banco de dados da Articulação do Semiárido Brasileiro (ASA).

2.2.2 Cálculo da pegada hídrica no setor do saneamento

O setor de saneamento envolveu apenas a componente cinza da pegada hídrica, PH_{cinza} , pois se refere somente ao volume dos esgotos domésticos gerados e, despejados na própria sub-bacia. Dessa forma, a pegada cinza no saneamento de acordo com Hoekstra et al. (2011), é quantificada pela soma da carga de poluente tratada (L_{trat}) e da carga de poluente não tratada (L_{Ntrat}) dividida pela diferença entre a concentração máxima aceitável ($C_{máx}$) e a concentração natural (C_{nat}) do poluente no corpo d'água receptor, conforme a Equação 3.

$$PH_{cinza \text{ do saneamento}} (m^3/ano) = \frac{L_{trat} + L_{Ntrat}}{(C_{máx} - C_{nat})} \quad (3)$$

Segundo Vieira e Júnior (2015) as cargas de poluente tratada (L_{trat}) e não tratada (L_{Ntrat}) (Equações 4 e 5) são obtidas com base na vazão média dos esgotos. Assim, a vazão média dos esgotos na sub-bacia foi calculada através da multiplicação entre o consumo médio per capita de água, o número de habitantes em cada município da sub-bacia, o coeficiente de retorno padrão e o índice médio de tratamento dos esgotos. O coeficiente de retorno padrão utilizado foi de 0,8 assim como determina a Norma Brasileira Técnica - NBR 9649 (ABNT, 1986). O índice médio de tratamento dos esgotos na sub-bacia em 2017 foi obtido pelo (SNIS, 2017). Importante salientar que dos 30 municípios sediados nos limites da sub-bacia apenas Cajazeirinhas e Itaporanga apresentaram informações sobre o tratamento dos seus esgotos.

$$L_{trat} = Q_{trat} \times C_{trat} \quad (4)$$

Em que Q_{trat} = Vazão dos esgotos tratados; C_{trat} = Concentração do parâmetro no esgoto tratado.

$$L_{Ntrat} = Q_{Ntrat} \times C_{Ntrat} \quad (5)$$

Em que Q_{Ntrat} = Vazão dos esgotos não tratados; C_{Ntrat} = Concentração do parâmetro no esgoto não tratado.

A Demanda Bioquímica por Oxigênio (DBO_5) de acordo com Vieira e Júnior (2015) é o parâmetro que apresenta o maior potencial de poluição em esgotos domésticos quando comparado com o Fósforo total e o Nitrogênio Amoniacoal. Com base nisto, o parâmetro selecionado para medir o nível de poluição foi a DBO_5 , por possuir maior potencial de contaminação.

A concentração média de DBO_5 utilizada para a parte não tratada foi de 300 mg/L e para a parte tratada o valor de 120 mg/L, ambos os valores foram propostos respectivamente em estudos realizados por Sperling (1996) e pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP, 2017) que considerou uma eficiência mínima de 60% nas tecnologias de tratamento adotadas. Em relação a C_{max} , esta foi de 5 mg/L para DBO_5 , assim como estabelecido pelo pela Resolução nº 357 (CONAMA, 2005), para águas doces classe 2. Para a $C_{nat.}$ foi adotado o valor zero, assim como recomendado por Hoekstra *et al.* (2011) quando esta variável não puder ser medida em campo.

2.2.3 Cálculo da pegada hídrica no setor da agricultura irrigada

Na agricultura irrigada, foram avaliados os componentes verde e azul (PH_{verde} e PH_{azul}) de modo que correspondem ao total de água que sofre evapotranspiração (dos campos e plantações). A PH_{cinza} não foi considerada na pecuária, pois não foram encontrados relatos sobre o uso de adubos ou defensivos agrícolas no desenvolvimento do milho e do capim sorgo, bases da silagem consumida pelos animais.

Para o cálculo, foram consideradas as culturas temporárias e permanentes cultivadas nos municípios da referida sub-bacia em 2017, assim como, suas respectivas áreas plantadas coletadas através da Produção Agrícola Municipal disponibilizada pelo Sistema IBGE de Recuperação Automática (IBGE, 2017). Sendo assim, a evapotranspiração de água verde (ET_{verde}), em outras palavras, a evapotranspiração de água da chuva, é definida, pelo modelo da Organização das Nações Unidas (ONU) para Agricultura e Alimentação (FAO, 1998), como o valor mínimo entre a evapotranspiração total da cultura (ET_c) e a precipitação efetiva (P_{efet}) (HOEKSTRA *et al.*, 2011), conforme a Equação 6.

$$ET_{verde} = \min (ET_c, P_{efet}) \quad (6)$$

Por sua vez, a evapotranspiração de água azul (ET_{azul}), ou a evapotranspiração da água irrigada no campo, é igual à ET_c menos a P_{efet} , sendo igual a zero quando esta exceder a ET_c , conforme a Equação 7.

$$ET_{\text{azul}} = \max (0, ET_c - P_{\text{efet}}) \quad (7)$$

A ET_c segundo Hoekstra et al. (2011) pode ser calculada através do método proposto pelo Serviço de Conservação do Solo do Departamento de Agricultura, dos Estados Unidos (USDA SCS), conforme a Equação 8.

$$ET_c = K_c \times ET_0 \quad (8)$$

Em que K_c = Coeficiente de cultivo da cultura; ET_0 = Evapotranspiração de referência.

Para a P_{efet} a FAO (1998) recomenda que esta, seja estimada pela relação entre a precipitação no mês t no perímetro k , na região a ser irrigada, conforme as Equações 9 e 10.

$$P_{\text{efet.kt}} = (0,8 \times P_{\text{kt}}) - 25, \text{ se } P_{\text{kt}} \geq 75\text{mm} \quad (9)$$

Ou

$$P_{\text{efet.kt}} = (0,6 \times P_{\text{kt}}) - 10, \text{ se } P_{\text{kt}} < 75\text{mm} \quad (10)$$

2.2.4 Cálculo da pegada hídrica no setor da pecuária

No setor da pecuária, foram considerados o componente azul referente ao consumo direto de água na dessedentação animal e o componente verde relacionado a alimentação por pastoreio e ração específica. A PH_{cinza} não foi considerada na pecuária, pois não foram encontrados relatos sobre o uso de adubos ou defensivos agrícolas no desenvolvimento do milho e do capim sorgo, bases da silagem consumida pelos animais. Para tanto, a PH_{azul} na pecuária foi estimada com base nas informações do número de cabeças por categoria animal (nº de cabeças) dos municípios sediados na sub-bacia em 2017 e no consumo médio de água por animal (CA) conforme a Equação 11.

$$PH_{\text{azul da pecuária}} (\text{m}^3/\text{ano}) = n^{\circ} \text{ de cabeças} \times CA \quad (11)$$

A quantidade de animais por categoria foi coletada presencialmente através da Pesquisa da Pecuária Municipal (IBGE, 2017). O consumo médio de água por animal foi obtido junto a Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER) e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) no ano de 2017. A PH_{verde} por sua vez, foi estimada com base no consumo de milho e capim sorgo (silagem) cultivados em sequeiros (sem necessidade de irrigação). Portanto, o cálculo envolveu apenas a ET_{verde} (Equação 6). Assim como no setor agrícola, as evapotranspirações totais do milho e do capim sorgo e a precipitação efetiva foram obtidas pelo método proposto pela FAO (Equações 8, 9, 10).

2.3 Cálculo da sustentabilidade ambiental

Com relação à análise da sustentabilidade da pegada hídrica na sub-bacia estudada, essa foi realizada sob a perspectiva ambiental. A sustentabilidade ambiental pressupõe que a qualidade da água esteja dentro de padrões pré-estabelecidos e que a quantidade respeite a vazão ambiental mínima. Nessa perspectiva, para entender o significado da importância da pegada hídrica foi necessário compará-la com os recursos hídricos disponíveis, dessa forma, a avaliação da sustentabilidade da pegada hídrica deste estudo foi feita de acordo com a demanda, disponibilidade de água e as vazões naturais da região.

A análise da sustentabilidade da PH_{azul} na sub-bacia foi realizada por meio do indicador de escassez de água azul (EA_{azul}). Segundo Hoekstra et al. (2011) o cálculo do EA_{azul} em uma bacia x é definido pela razão entre a soma das pegadas hídricas azuis totais na bacia ($\sum PH_{\text{azul}}$) e a disponibilidade de água azul (DA_{azul}), conforme a Equação 12.

$$EA_{\text{azul}} = \frac{\sum PH_{\text{azul}}(x,t)}{DA_{\text{azul}}(x,t)} \quad (12)$$

Para tanto, a disponibilidade de água azul (DA_{azul}) em uma bacia x , em um determinado período t , é definida como o escoamento natural na bacia (Q_{nat}) menos a demanda de vazão ambiental (DVA), conforme a Equação 13, a seguir:

$$DA_{\text{azul}} [x,t] = Q_{\text{nat}} [x,t] - DVA [x,t] \quad (13)$$

A PH_{azul} excederá a disponibilidade de água azul em um determinado período e em uma dada bacia quando a demanda de vazão ambiental for violada. Segundo Hoekstra et al. (2011) a escassez azul depende do tempo, de forma que a medição mensal é geralmente suficiente e mais tecnicamente interessante para conhecer a variação ao longo do ano.

A análise da sustentabilidade da PH_{verde} foi definida através do indicador de escassez de água verde (EA_{verde}). De acordo com Hoekstra et al. (2011) o EA_{verde} em uma bacia x em um período t é definido como a razão entre o total de pegadas hídricas verdes na bacia ($\sum PH_{\text{verde}}$) e a disponibilidade da água verde (DA_{verde}), conforme a equação 14.

$$EA_{\text{verde}} = \frac{\sum PH_{\text{verde}(x,t)}}{DA_{\text{verde}(x,t)}} \quad (14)$$

Em relação a disponibilidade de água verde (DA_{verde}), esta é definida por Hoekstra et al. (2011) como a evapotranspiração total da água da chuva (ET_{verde}) menos a soma da evapotranspiração reservada para a vegetação natural (ET_{amb}) e da evapotranspiração das áreas não produtivas (ET_{improd}), conforme a Equação 15.

$$DA_{\text{verde}} [x,t] = ET_{\text{verde}} [x,t] - ET_{\text{amb}} [x,t] - ET_{\text{improd}} [x,t] \quad (15)$$

No cálculo da disponibilidade da DA_{verde} foram adotadas as evapotranspirações médias mensais, assim como as áreas improdutivas e preservadas definidas pelo PRBH/PPA (2016), através do mapeamento do uso e ocupação do solo.

Para a avaliação da sustentabilidade da PH_{cinza} , o indicador utilizado foi o nível de poluição da água (NPA). Para tal, o NPA é definido como a fração consumida da capacidade de assimilação de efluentes e calculado pela razão entre o total das pegadas hídricas cinza ($\sum PH_{\text{cinza}}$) e o escoamento real de uma bacia (Q_{real}) (HOEKSTRA et al., 2011), conforme a Equação 16.

$$NPA_{(x,t)} = \frac{\sum PH_{\text{cinza}(x,t)}}{Q_{\text{atual}(x,t)}} \quad (16)$$

Um nível de poluição de água de 100% indica que a capacidade de assimilação de resíduos foi totalmente utilizada. Quando o nível de poluição excede os 100%, os padrões de qualidade da água em seu estado natural são violados. Tanto a pegada hídrica cinza quanto o escoamento sofrem variações no decorrer do ano, ou seja, o nível de poluição da água também apresenta variações ao longo do ano. Na maioria dos casos, o cálculo mensal pode ser suficiente para representar a variação temporal, mas se houver necessidade, pode-se fazer o cálculo para um período menor (HOEKSTRA et al., 2011).

Os limites mensais de sustentabilidade azul e cinza foram apresentados graficamente. As vazões naturais (Q_n) consideradas em ambas as análises, correspondem a $Q_{90\%}$, que é a chamada vazão com 90% de garantia e 10% são destinadas para vazão ecológica, de acordo com o PRBH/PPA (2016).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Abastecimento urbano e rural

A pegada hídrica do setor de abastecimento humano foi executada em conjunto para os meios urbano e rural. O fornecimento de água que envolve as etapas de captação, tratamento, reserva e distribuição é realizada para suprir as demandas de consumo direto pelos habitantes da sub-bacia, portanto, foi estimado para esse setor apenas a componente azul, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Pegada hídrica azul no abastecimento urbano.

População Abastecida	Consumo médio per capita (L/hab.dia)	Índices de perdas no sistema de abastecimento (%)	Pegada Hídrica Azul (m^3 /ano)
282.832	106,21	40	15.350.229

Fonte: Adaptado de IBGE (2017) e SNIS (2017).

Vale salientar, que o consumo médio per capita utilizado, é a média diária por indivíduo dos volumes de água utilizados para satisfazer os consumos domésticos, comercial, público e industrial e

que o índice de perdas por distribuição foi considerado com o objetivo de incorporar a água que é “perdida” ao longo da rede de distribuição antes mesmo de chegar aos estabelecimentos. Diante disso, a pegada hídrica azul para o abastecimento humano em 2017 totalizou 15.350.229 m³ ao ano.

Com relação a zona rural foi considerado ainda o volume de água da chuva captado pelas cisternas e utilizado diretamente para consumo humano. Portanto, a pegada hídrica azul (m³/ano) para as cisternas foi estimada basicamente pela multiplicação entre o quantitativo de cisternas da sub-bacia em 2017 e a capacidade média de armazenamento em litros de cada tipo de tecnologia, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Pegada hídrica azul no abastecimento por cisternas.

Cisterna de Placa		Cisterna Calçadão		Cisterna Enxurrada		Barreiro Tricheiro		Pegada Hídrica Azul
unid.	m ³	unid.	m ³	unid.	m ³	unid.	m ³	(m ³ /ano)
12.673	16.000	622	52.000	687	52.000	187	50.000	364.336

Fonte: ASA (2017).

Assim a PH_{azul} para as cisternas foi de 364.336 m³ no ano de 2017. Para tal, o volume total de água azul referente ao setor de abastecimento totalizou 15.714.565 m³ ao ano.

3.2 Saneamento

A pegada hídrica do setor de saneamento (PH_{cinza}) envolveu apenas a componente cinza e foi determinando o volume de água necessário para diluir a poluição gerada nos municípios pertencente a sub-bacia. Para tanto, foi considerada a parcela de esgotos tratada e a parcela de esgotos que é lançada nos corpos d'água sem nenhum tratamento, uma vez que, a concentração de poluentes é diferenciada nos dois casos, conforme pode ser visto na Tabela 3. Essas variáveis estão descritas na metodologia com seus respectivos conceitos.

Tabela 3 - Pegada hídrica cinza no saneamento.

Ltrat. (Kg/ano)	Ltrat. (Kg/ano)	C _{max} .DBO ₅ (Kg/m ³)	C _{nat} .DBO ₅ (Kg/m ³)	Pegada Hídrica Cinza (m ³ /ano)
-----------------	-----------------	--	--	--

2.461.060	68.163	0,005	0	505.844.600
-----------	--------	-------	---	-------------

Fonte: Adaptado de Hoekstra *et al.* (2011), SABESP (2017) e CONAMA (2005).

O resultado da PH_{cinza} no saneamento totalizou 505.844.600 m³ ao ano em 2017. Esse valor corresponde ao volume anual em m³ necessário para diluir toda a matéria orgânica produzida e despejada na sub-bacia durante o ano analisado, de modo que a água permaneça dentro dos padrões pré-estabelecidos para consumo humano.

3.3 Agricultura irrigada

Com a ET_{verde} definida, pôde-se estimar o volume de água verde destinado a agricultura, no entanto, como a pegada hídrica verde é o volume da água da chuva que fica armazenada no solo, foi considerada a área plantada de cada cultura durante o ano de 2017. Os resultados da pegada verde para as diferentes culturas consideradas no plano agrícola podem ser observados através da Tabela 4 a seguir:

Tabela 4 - Pegada hídrica verde na agricultura irrigada.

Culturas	Área Plantada (m ²)	ET_{verde} (m/ano)	Pegada Hídrica Verde (m ³ /ano)
Manga	630.000	0,50	313.123
Coco	910.000	0,49	443.002
Goiaba	320.000	0,48	152.515
Banana	750.000	0,50	375.315
Arroz (s - es)	6.230.000	0,38	2.386.588
Batata doce (s - es)	4.420.000	0,43	1.882.124
Mandioca (s - es)	3.220.000	0,37	1.195.522
Milho (s - es)	149.400.000	0,43	64.125.468
Cana-de-açúcar (s - es)	1.890.000	0,42	788.924
Feijão	133.340.000	0,31	41.991.433
Feijão-Fava	4.250.000	0,31	13.38.410
Melancia	130.000	0,19	24.115

Sisal	400.000	0,43	171.150
Abacate	40.000	0,50	20.017
Tomate (s - es)	40.000	0,39	15.400
Caju	2.160.000	0,45	965.952

Fonte: Adaptado do IBGE (2017).

Assim, a PH_{verde} total na agricultura irrigada foi obtida pela soma de todo volume de água absorvido pelas culturas da região no ano de 2017, totalizando o valor de 116.189.057 m³.

Determinando a ET_{azul} e conhecendo a área plantada por cultura dos perímetros irrigados da sub-bacia estudada foi calculado o volume de água. A Tabela 5 a seguir mostra os resultados do consumo de água azul na agricultura irrigada para as diferentes culturas consideradas no plano agrícola.

Tabela 5 - Pegada hídrica azul na agricultura irrigada.

Culturas	Área Plantada (m ²)	ET_{azul} (m/ano)	Pegada Hídrica Azul (m ³ /ano)
Manga	630.000	1,90	1.195.753
Coco	910.000	1,76	1.600.267
Goiaba	320.000	1,62	518.096
Banana	750.000	2,49	1.870.035
Arroz (s - es)	6.230.000	1,35	8.419.129
Batata doce (s - es)	4.420.000	1,22	5.373.505
Mandioca (s - es)	3.220.000	0,67	2.166.490
Milho (s - es)	149.400.000	1,43	214.014.006
Cana-de-açúcar (s - es)	1.890.000	1,43	2.698.589
Feijão	133.340.000	1,12	148.783.439
Feijão-Fava	4.250.000	1,12	4.742.235
Melancia	130.000	1,53	199.357
Sisal	400.000	1,22	487.486
Abacate	40.000	2,04	81.772
Tomate (s - es)	40.000	1,16	46.206

Caju	2.160.000	1,35	2.914.013
------	-----------	------	-----------

Fonte: IBGE (2017) onde s - safra; es – entressafra;

Portanto, a PH_{azul} total na agricultura irrigada na sub-bacia foi obtida pela soma de todo o consumo de água azul nas diferentes culturas, totalizando o valor de 395.110.376 m³ no ano de 2017. Este é o valor da pegada hídrica azul total considerando que a irrigação esteja funcionando na sua plenitude.

3.4 Pecuária

A pegada hídrica na pecuária (PH_{azul}) foi calculada considerando os principais tipos de animais criados na área da sub-bacia estudada no ano de 2017, conforme a Tabela 6.

Tabela 6 - Pegada hídrica azul na pecuária.

Categorias	Número de Cabeças	Consumo Médio de Água (l/cabeça.dia)	Pegada Hídrica Azul (m ³ /ano)
Bovinos	201.022	20	4.020.440
Equinos	7.160	18	128.880
Suínos	32.864	5	164.320
Caprinos	69.004	3	207.012
Ovinos	77.698	3	233.094
Galináceos	678.840	0,23	156.133

Fonte: IBGE (2017), EMATER (2017) e EMBRAPA (2017).

Logo a pegada hídrica azul da pecuária foi obtida pela soma do consumo de água azul pelos diferentes tipos de animais, totalizando 4.909.879 m³ ao ano.

Por sua vez, para calcular a pegada verde na pecuária (PH_{verde}) foi considerado dois tipos silagem na alimentação dos animais. Sendo assim, foram consideradas como bases para a silagem (ração) o capim sorgo e o milho, como mostra a Tabela 7 a seguir:

Tabela 7 - Consumo médio dos rebanhos por tipo de silagem.

Categoria	Número de Cabeças	Consumo médio de	
		Alimentos (Kg/cabeça/dia)	Tipo de Silagem
Bovinos	201.022	15	Capim
Equinos	7.160	7	Capim
Suínos	32.864	3,2	Milho
Caprinos	69.004	2,94	Milho
Ovinos	77.698	2,92	Milho
Galináceos	678.840	0,13	Milho

Fonte: IBGE (2017), EMATER (2017) e EMBRAPA (2017).

Para calcular a ET_{verde} para as duas culturas, o volume de água verde referente a produção total de milho e sorgo consumidos pelos animais no ano de 2017 considerou a ET_{verde} em m/ano pela área a ser plantada em m^2 . A produtividade do milho adotada foi de 35 (ton./ha) e para o capim sorgo 70 (ton./ha), logo na Tabela 8 mostra o cálculo da pegada hídrica verde no setor da Pecuária.

Tabela 8 - Pegada hídrica verde na pecuária.

Culturas	Consumo Total de Silagem (Ton./ano)	Área plantada (m^2 /ano)	ET_{verde} (m/ano)	Pegada Hídrica Verde (m^3 /ano) - 2017
Milho	227.455	15.984	0,43	2.794
Sorgo	1.118.889	6.499	0,40	6.394

Fonte: IBGE (2017) e GOMES (1999);

Portanto, a PH_{verde} total obtida em 2017 para o consumo de silagem pelos animais, foi de 9.188 m^3 .

3.5 Estimativa da pegada hídrica total na sub-bacia do rio Piancó/PB.

Para contabilizar a PH_{total} considerando os setores como: o abastecimento humano, o saneamento, a agricultura irrigada e a pecuária na sub-bacia do Rio Piancó no Sertão paraibano no ano de 2017, a Tabela 9 a seguir mostra de forma detalhada o valor final.

Tabela 9 - Pegada hídrica total na sub-bacia do rio Piancó/PB.

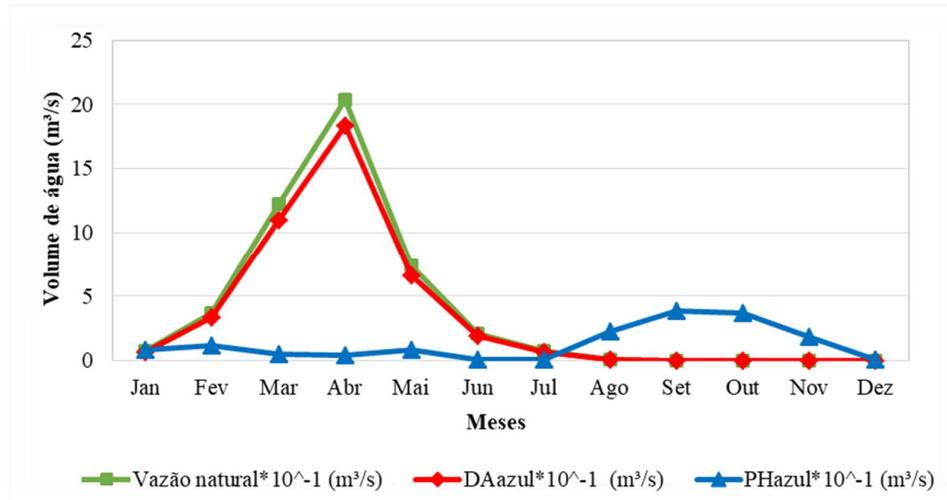
Setores	Azul (m ³ /ano)	Verde (m ³ /ano)	Cinza (m ³ /ano)	Total por Setor (m ³ /ano)
Abastecimento	15.714.565	-	-	15.714.565
Saneamento	-	-	505.844.600	505.844.600
Agricultura Irrigada	395.110.376	116.189.057	-	511.299.433
Pecuária	4.909.879	9.188	-	4.919.067
Pegada Hídrica Total (m³/ano)	415.736.820	116.198.245	505.844.600	1.037.777.665

Assim, o valor encontrado para a pegada hídrica total da sub-bacia do rio Piancó no ano de 2017 foi de 1.037.777.665 m³. A maior contribuição da pegada hídrica na sub-bacia foi atribuída à água cinza, que representou aproximadamente 48,9% da pegada total. A pegada hídrica azul correspondeu a 40% da pegada hídrica total e o restante foi atribuído à água verde.

Em relação à pegada hídrica específica de cada setor avaliado na sub-bacia, a agricultura irrigada representou 49,27% da Pegada hídrica total, seguida do saneamento com 48,9%. As pegadas hídricas da Pecuária e do Abastecimento foram iguais a 0,47% e 1,52% do total, respectivamente.

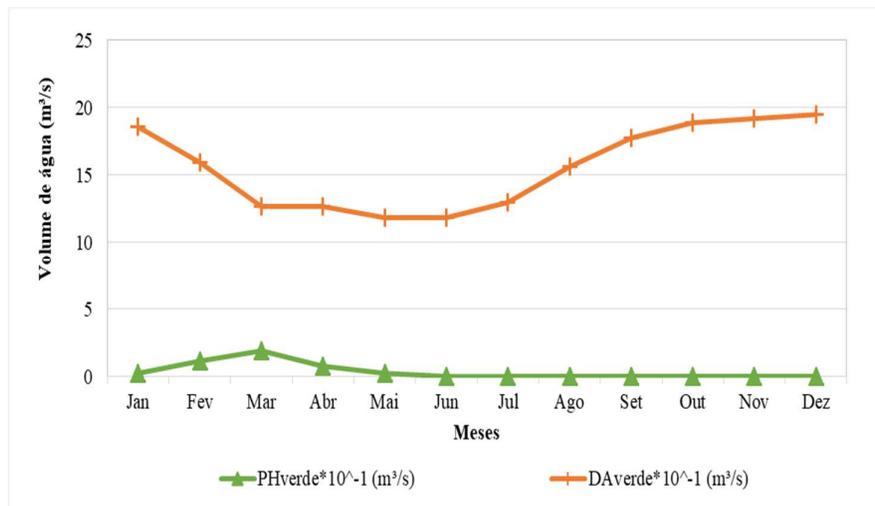
3.6 Análise da sustentabilidade ambiental

A análise da sustentabilidade ambiental das PH_{azul} , PH_{verde} e PH_{cinza} na sub-bacia estudada foram expressas mensalmente conforme as Figuras 2, 3 e 4. De acordo com a Figura 2, a pegada hídrica azul durante o ano de 2017 não supera a disponibilidade de água azul no mesmo período, porém, verifica-se que essa disponibilidade vai diminuindo gradativamente e se agravando nos últimos meses do ano, coincidindo com o regime pluviométrico da região estudada que é geralmente seco.

Figura 2 - Análise da Sustentabilidade Ambiental da pegada hídrica azul.

Pode-se observar então, que entre os meses de fevereiro a junho, o volume de água é maior, em contrapartida, entre os meses de julho a dezembro o volume de água é baixo que coincide com a presença de grandes taxas de evapotranspiração que influenciam diretamente no volume de água disponível. Para tanto, a demanda por água azul supera a sua disponibilidade, consumindo consequentemente toda a vazão natural e revelando uma situação de insustentabilidade.

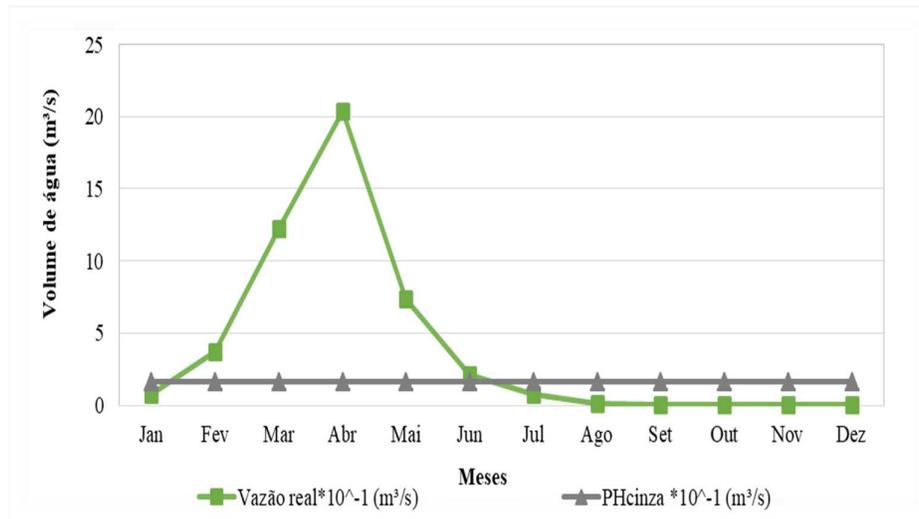
Já na Figura 3, a pegada hídrica verde não supera em nenhum momento a disponibilidade de água verde. Entre os meses de janeiro a março apresentar um maior consumo de água verde que começa a decrescer em abril.

Figura 3 - Análise da sustentabilidade ambiental da pegada hídrica verde.

Entretanto, entre os meses de julho a dezembro apresenta uma elevada disponibilidade de água verde no solo é tida como inadequada já que se encontram provavelmente em camadas profundas do solo, neste período do ano as culturas requerem altos volumes de água devidos as altas taxas de evapotranspiração. Para tanto, o consumo de água verde pode ser considerado sustentável na sub-bacia no ano de 2017 em alguns meses, porém, fica claro, que o potencial de água verde na região entre os meses de abril a junho não está sendo maximizado principalmente para o desenvolvimento da agricultura de sequeiro.

Na Figura 4 apresenta a análise gráfica mensal da sustentabilidade ambiental da componente cinza da pegada hídrica, realizada com base no grau de poluição da água.

Figura 4 - Análise da sustentabilidade ambiental da pegada hídrica cinza.



O efeito da pegada hídrica cinza total depende principalmente do volume escoamento superficial disponível na sub-bacia para que seja capaz assimilar e diluir seus efluentes. Nota-se na Figura 4 que entre os meses de fevereiro a junho, onde os volumes de água são maiores, a sub-bacia consegue assimilar terminalmente a carga de poluentes domésticas lançadas nos corpos d'água, porém, entre os meses de julho a dezembro, a capacidade de assimilação dos corpos d'água é totalmente perdida, violando assim, os padrões de qualidade da água. Assim, pode-se afirmar, que a sub-bacia apresenta pontos de insustentabilidade durante o ano, devido principalmente a irregularidade volumétrica da região que acaba afetando a capacidade assimilação dos seus corpos hídricos.

4 CONCLUSÕES

No tocante a sustentabilidade ambiental da componente azul, da pegada hídrica, em uma escala anual, essa se apresentou sustentável, porém, pôde-se observar que nos últimos meses do ano a demanda por água azul supera a sua disponibilidade. Esses pontos de insustentabilidade ao final do ano coincidem com a queda na precipitação e o aumento na evaporação, alterações climáticas típicas dessa região. Com a relação à sustentabilidade da pegada hídrica verde, esta se apresentou sustentável no período chuvoso, porém, o consumo de água verde está bem abaixo do potencial que a sub-bacia oferece, principalmente no que se refere à demanda por água no desenvolvimento de agricultura por sequeiro.

Não obstante das situações anteriores, a análise do nível de poluição da água demonstrou que em um plano anual, os corpos de água da sub-bacia conseguem assimilar totalmente a carga de efluentes lançada, no entanto, essa capacidade de assimilação é comprometida nos últimos meses do ano, devido principalmente à queda na disponibilidade de água, causada pela irregularidade pluviométrica da região e pela má gestão dos recursos hídricos. Nessa perspectiva, pode-se afirmar que havendo um planejamento eficaz para o uso adequado da água durante todo o ano, seria possível administrar a quantidade de água acumulada nos meses mais chuvosos, para evitar as dificuldades enfrentadas nos meses mais críticos do ano.

Portanto, os pontos críticos a serem trabalhados na sub-bacia com a finalidade de reduzir a pegada hídrica, dizem respeito ao componente azul no setor de agricultura irrigada e ao componente cinza no saneamento. A pegada hídrica azul no setor agrícola pode ser reduzida em parte, pela utilização de técnicas e sistemas de irrigação que economizem água e, em parte, pelo aumento da proporção da produção com base na água verde (sequeiro) ao invés da água azul (irrigação). Em relação à redução do componente cinza no saneamento, a principal medida a ser tomada, refere-se à ampliação da rede de atendimento do esgotamento sanitário, sobretudo no processo de tratamento, para remoção mais eficiente das cargas de poluentes.

Além dessas medidas, é importante levar em consideração o desenvolvimento de uma gestão integrada dos recursos hídricos visando à redução nas taxas de consumo e o aumento da eficiência no uso da água. Para tal, é necessário potencializar ações que visem: 1) a redução das perdas no sistema de abastecimento de água; 2) a precisão no monitoramento da vazão real dos rios da região; 3) o incentivo ao cadastro de outorga pelo uso da água, com o objetivo de verificar a demanda real de água na sub-bacia; 4) a criação de políticas públicas relacionadas às reduções de desperdício e poluição da água; 5) ampliação do uso de tecnologias sociais para captação e armazenamento de água; 6) a implementação de ferramentas de gestão baseadas em indicadores de sustentabilidade do uso da água, entre outras. Com uma gestão mais eficiente por bacia hidrográfica, as demandas devem adequar-se à capacidade de carga natural do ambiente, para regenerar as entradas de recursos no sistema e assimilar os fluxos de resíduos da atividade produtiva, sem ultrapassar o limite da sustentabilidade a longo prazo.

Para tanto, esta pesquisa atendeu a todos os objetivos propostos ao sistematizar, contabilizar e analisar a sustentabilidade ambiental da pegada hídrica dos principais usuários de água na sub-bacia. Como ponto positivo o estudo se destacou entre os demais, pois analisou em nível mensal a sustentabilidade ambiental de cada componente da pegada hídrica em separado, além de ter

considerado o volume de água azul armazenado nas diferentes tecnologias sociais para captação de água da chuva.

Cabe destacar, que o uso da avaliação da pegada hídrica como ferramenta de auxílio na gestão dos recursos hídricos ainda é bastante discutido, mas tende a ganhar força mediante a intensificação dos conflitos pelos múltiplos usos da água. De certa forma, o crescimento das demandas para suprir as necessidades de abastecimento humano, produção industrial, desenvolvimento de culturas agrícolas e criação de animais exigirão um esforço conjunto por parte de toda a sociedade para que não haja um colapso na oferta de recursos hídricos. Assim, além de medidas governamentais que devem ser tomadas pelos órgãos reguladores e fiscalizadores de água na sub-bacia, é essencial que exista uma maior conscientização por parte da população em relação ao uso consciente e sustentável da água.

Conclui-se então, que os resultados dessa pesquisa podem servir de norte para futuros planejamentos a serem desenvolvidos em prol do uso eficiente da água. Como também, alertar principalmente a população, empresas e gestores ambientais sobre a quantidade de água que está sendo usada pelos diversos setores e onde pode ser reduzido para que não haja falta dos recursos hídricos, posto que, é um bem imprescindível para a vida humana.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA - AESA. Plano Estadual de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Piancó-Piranhas-Açu. Resumo Estendido. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Brasília-DF, 2016.
- AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA - AESA. Plano Diretor de Recursos Hídricos da Paraíba: Bacias do Rio Piancó e do Alto Piranhas. Associação para o Desenvolvimento da Ciência e da Tecnologia - SCIENTEC. Paraíba, 1997.
- ALLAN, J. A.; Virtual Water: a strategic resource global solutions to regional deficits. *Ground Water*, [S.L.], v. 36, n. 4, p. 545-546, jul. 1998.
- ABNT; Associação Brasileira de Normas Técnicas; Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário; NBR 9649 – 1986.
- CARVALHO, D. M.; BERENGUER, M. E. M.; Pegada Hídrica e Análise de Sustentabilidade do Tratamento de Água no Brasil: Um Estudo de Caso da ETA Laranjal. 2016. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2016.

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. RESOLUÇÃO Nº 357, Enquadramento dos corpos de água. 2005.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Section 2 - Recommended International Code of Practice - General Principles of Food Hygiene. In: FAO. Food Quality and Safety Systems - A Training Manual on Food Hygiene and the Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP) System, 1998. Disponível em <<http://www.fao.org/docrep/W8088E/w8088e04.htm>>. Acesso em 30 março 2017.

FERREIRA, F. F. Pegada Hídrica da Geração de Energia Hidrelétrica no Brasil – Um Estudo de Caso da AES Tietê S.A. 2014. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro-RJ, 2014.

FREITAS, S. C.; Estimativa da Pegada Hídrica Cinza Relativa ao Fósforo na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Pipiripau (DF/GO). 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, 2013.

GAVIÃO, L. O.; BARRETO, M.; LIMA, G. B. A.; MEZA, L. A.; SOUZA, D. O. G.; VIEIRA, T. G.; Avaliação de eficiência a partir de indicadores de sustentabilidade. Revista Conhecimento e Diversidade, Niterói, v.8, n.16, p.68-83, jul./dez. 2016.

GOMES, H.P. Engenharia de irrigação: hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento. 3.ed. Campina Grande: UFPB, 1999.

HOEKSTRA, A. Perspectives on Water, International Books, Utrecht, 1998

HOEKSTRA, A. Y.; Virtual water trade: Proceedings of the Internacional Expert Meeting on Virtual Water Trade. -IHE, n.12. p.239, 2003.

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.

HOEKSTRA, A. CHAPAGAIN, A. K.; ALDAYA, M. M.; MEKONNEN. The Water Footprint Assessment Manual, 2012.

HOEKSTRA, A. Y.; MEKONNEN, M. M.; CHAPAGAIN, A. K.; MATHEWS, R. E.; RICHTER, B. D. Global Monthly Water Scarcity: Blue Water Footprints versus Blue Water Availability. PLoSONE 7(2): e32688. v.7, Issue 2, 2012.

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

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. População projetada para o ano de 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=resultados>. Acesso em 10 jan. 2017.

- _____, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Informações sobre as áreas irrigáveis 2018/2019 por município – SIDRA WEBSITE. Disponível em: <http://sidra.ibge.gov.br>. Acesso em 10 jan. 2017.
- LIMA, C. A. G.; CURI, W. F.; CURI, R. C.; Concepção hídrica do sistema de reservatórios Coremas-mãe d'água e sua influência sobre a vazão regularizável. RECIE, Uberlândia, v.15, n.12, p.63-71, jan./dez., 2006.
- LIMA, C. A. G.; Análise e sugestões para diretrizes de uso das disponibilidades hídricas superficiais da bacia hidrográfica do rio Piancó, situada no Estado da Paraíba. 2004. 301 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2004. Disponível em: <<http://www.rioss.com/downloads/teses/tesecicero.pdf>>. Acessado em: 26 de janeiro de 2017.
- MARACAJÁ, K. F. B.; SILVA, V. P. R.; NETO, J. D.; ARAUJO, L. E.; Pegada Hídrica como Indicador de Sustentabilidade Ambiental. Revista de Administração, Contabilidade e Sustentabilidade, v. 2, n. 2 – Edição Especial Rio + 20, p.113-125, jun., 2012.
- PRBH/PPA; Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu / Agência Nacional de Águas. – Brasília – DF, 167p. (2016).
- PROGRAMA ÁGUA BRASIL – PAB. Pegada Hídrica de Bacias Hidrográficas. Iniciativa da Agência nacional de Águas, Fundação Banco do Brasil e WWF-Brasil, 2014.
- SANTIN, J. R.; GOELLNER, E.; A Gestão dos Recursos Hídricos e a Cobrança pelo seu Uso. Sequência, Florianópolis, n.67, p.199-221, dez., 2013.
- SABESP; Companhia de Saneamento Básico de São Paulo. Padrões de lançamento para Estações de Tratamento de Esgotos Domésticos. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/EFABF603/PresEstacoesTratamEsgotosDomesticos.pdf>> Acesso em: 18 jan. 2017.
- SNIS, SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2017. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2017.
- VIEIRA, B.; JUNIOR, W. S. Contribuições para Abordagem Municipal da Pegada Hídrica: Estudo de Caso no Litoral de São Paulo. Revista Ambiente & Sociedade, São Paulo, n. 3, p.231-252, jul./set. 2015.
- VON-SPERLING, M. Princípios de tratamento biológico de águas residuárias: introdução e qualidade das águas e do tratamento de esgotos. 2. ed. Belo Horizonte: FMG, 1996.