



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgf>



Estudo da Pegada Hídrica Populacional em Região Semiárida

Marcelo Carlos de Oliveira Silva¹, Márcia Maria da Silva², Simone Machado Santos³, Saulo de Tarso Marques Bezerra⁴, Gilson Lima da Silva⁵, Elizabeth Amaral Pastich Gonçalves⁶

¹Mestre em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)-Campus Agreste, av. Marielle Franco, s/n - Km 59 – Nova Caruaru, Caruaru/PE, 55014-900, e-mail: marcelo.carlosoliveira@gmail.com.

²Engenheira civil, UFPE-Campus Agreste e-mail: marcia.msilva05@hotmail.com.

³Professora associada da UFPEo-Campus Agreste, e-mail: simone.machadosantos@ufpe.br

⁴Professor associado da UFPE-Campus Agreste e-mail: saulo.tarso@ufpe.br

⁵Professor associado da UFPE-Campus Agreste e-mail: gilson.lsilva@ufpe.br.

⁶Professora adjunta da UFPE-Campus Agreste, e-mail: bethpastich@yahoo.com.br.

Artigo recebido em 12/05/2021 e aceito em 29/01/2022

RESUMO

A Pegada Hídrica (PH) configura-se como uma ferramenta importante no auxílio da mensuração do grau de sustentabilidade no uso da água de um dado local. Ela mensura o volume total anual de água doce necessário para produzir os bens e serviços de uma população. Este trabalho objetivou estudar a PH média dos habitantes da região Agreste de Pernambuco, avaliando-se o consumo de água e sua relação com indicadores sociais. A metodologia consistiu na aplicação de questionários para geração de dados aplicados na calculadora eletrônica para mensurar a PH de um indivíduo, 625 questionários foram aplicados. Os resultados mostraram que o valor da PH *per capita* foi de 1128,19 m³.ano⁻¹, situando-se abaixo da PH *per capita* do planeta (1385 m³.ano⁻¹) e da média brasileira (2027 m³.ano⁻¹), fato atribuído às características semiáridas da região estudada. A relação encontrada entre a renda e PH foi linear, demonstrando que uma população com maior poder aquisitivo consome mais produtos, o que consequentemente, produz maiores valores de PH. A alimentação correspondeu a 62,6% da PH da região. Desta forma, políticas direcionadas aos hábitos alimentares podem apresentar resultados mais efetivos no gerenciamento da água do que, por exemplo, ações-voltadas ao consumo de água doméstica. É importante destacar que na gestão dos recursos hídricos, a questão da qualidade da água não pode ser desprezada. Neste sentido algumas atividades industriais, por exemplo, podem contribuir de forma menos pronunciada no consumo de água, mas serem fortemente responsáveis pela poluição dos corpos receptores.

Palavras-chave: Consumo de água; Recursos hídricos; Indicadores.

Study of Population Water Footprint in a Semi-Arid Region

ABSTRACT

The Water Footprint (WF) is an important tool in support to measure the degree of sustainability in the water use in a given location. It measures the total annual volume of fresh water needed to produce goods and services for a population. This research aimed to study the WF average of the inhabitants from Agreste region of Pernambuco, evaluating water consumption and its relationship with social indicators. The methodology consisted of the questionnaires application. The data were insert in a eletronic calculator for WF mensuration, 625 questionnaires were applied. The results showed that the WF per capita was 1128.19 m³.year⁻¹, which is below the planet's WF per capita (1385 m³.year⁻¹) and the Brazilian average (2027 m³.year⁻¹), fact attributed to the semiarid characteristics of the studied region. The relationship found between incomes and WF was linear, showing that a population with greater purchasing power consumes more products, which consequently produces higher WF values. Feeding corresponded to 62.59% of the WF of the region. In this way, policies aimed at eating habits can present more effective results in water management than, for example, actions aimed at the consumption of domestic water. It is important to highlight that in the management of water resources, the water quality issue cannot be forgetted. In this sense, some industrial activities, for example, may contribute less significantly to water demand, but are strongly responsible for receiving bodies pollution.

Keywords: Water consumption; Water resources; Indicator

Introdução

A preocupação com o meio ambiente e com os recursos naturais do planeta tem aumentado

significativamente nas últimas décadas. No Brasil e no mundo, problemas relacionados à poluição do ar, do solo e crises hídricas têm se intensificado.

Dentro da perspectiva da gestão das águas, exige-se celeridade nas tomadas de decisão uma vez que a escassez vem atingindo níveis críticos, para tanto são necessárias ferramentas de estudo visando o planejamento e uso dos recursos hídricos (Hanasaki *et al.*, 2013).

Uma das ferramentas que vem adquirindo destaque no cenário científico, como salientam Costa *et al.* (2021) e Santos *et al.* (2020), é a Pegada Hídrica (PH), desdobramento do conceito de “água virtual”, que diz respeito ao comércio direto e indireto da água que está embutida em certos produtos, em especial nas commodities agrícolas, enquanto matéria prima desses produtos.

A inovação do conceito de PH em relação a outros métodos de contabilidade hídrica, é que este conceito estima a utilização de água na produção de bens e serviços. Trata-se de um método que observa os usos diretos e indiretos da água de um consumidor ou produtor (Empinotti; Jacobi, 2012).

Como destacam Yerli e Sahin (2022) e Rocha *et al.* (2020), a PH não se limita apenas a análise do uso direto dos recursos hídricos, por um consumidor ou um produtor, mas, de modo igual, ao uso indireto. O conceito de PH foi introduzido nas discussões relacionadas à gestão da água, a fim de mostrar a importância dos padrões de consumo e das dimensões locais e globais na governança da água (Vanham, 2013).

O estudo da PH traz uma nova discussão para as pesquisas sobre o consumo de água, sustentabilidade e gerenciamento integrado dos recursos hídricos. Como indicador, a PH objetiva apresentar as conexões entre consumo humano e uso da água, e entre comércio global e manejo de recursos hídricos, podendo influenciar as tendências de consumo e promover a implantação de um manejo mais sustentável deste recurso (Vanham; Bidoglio, 2013).

Desde a sua formulação, a PH tem sido aplicada em diversos campos relacionados ao uso humano da água. Por exemplo, a metodologia foi aplicada para estimar o consumo direto e indireto de água em: (i) produtos agrícolas (Costa *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2020; Rocha *et al.*, 2020; Chapagain e Hoekstra, 2011; Han *et al.*, 2018; Zhai *et al.*, 2019), (ii) produção de alimentos (Aldaya e Hoekstra, 2010; Erçin *et al.*, 2012; Xing *et al.*, 2019), (iii) indústria têxtil (Chapagain *et al.*, 2006; Chico *et al.*, 2013), (iv) geração de energia hidrelétrica (Mekonnen e Hoekstra, 2012; Scherer e Pfister, 2016; Zhang *et al.*, 2019), (v) tratamento de águas residuais (Shao e Chen, 2013; Risch *et al.*, 2014; Arias *et al.*, 2019), (vi) pecuária (Kannan *et*

al., 2017; Spore *et al.*, 2020), (vii) biocombustíveis (Dominguez-Faus *et al.*, 2009; Gerbens-Leenes *et al.*, 2011), entre outras aplicações.

Ainda, na segunda década do século XXI, há pouca conscientização sobre o fato de que a organização e as características de uma produção e sua cadeia de abastecimento influenciam fortemente as demandas de água (e as distribuições temporal e espacial) e sua poluição, e como isso pode ser mensurado no produto final. Visualizar o uso indireto da água em produtos pode ajudar no entendimento do caráter global da água doce e na quantificação dos efeitos do consumo na utilização dos recursos hídricos (Hoekstra *et al.*, 2011).

Em particular, a região Agreste do Estado de Pernambuco, no Brasil, apesar de estar situada em uma região semiárida, com rios perenes e evapotranspiração alta, se destaca por ter como principal atividade econômica o setor têxtil.

De acordo com a Silva Filho *et al.* (2021), o Arranjo Produtivo Local de Confecções do Agreste Pernambucano foi considerado em 2011 pela Associação das indústrias têxteis brasileiras (ABIT), o quarto maior produtor e consumidor de jeans no mundo, sendo responsável por 15% da produção de jeans do Brasil e por 3% do PIB do estado de Pernambuco.

A indústria da moda utiliza uma quantidade excessiva de água em seus processos produtivos e se configura como um dos setores industriais que mais poluem o meio ambiente (Abreu *et al.*, 2008), sobretudo os corpos hídricos e os solos da região.

De acordo com Silva Filho *et al.* (2021), o volume total de água mensalmente consumido pelas lavanderias só na cidade de Caruaru, pertencente ao APL da Moda do Agreste de Pernambuco, resultou em 178 mil m³ de água e um consumo médio de 126,72 L de água.kg⁻¹ de jeans produzido, o que equivale a 7% do consumo da população da cidade.

A gestão da água em Pernambuco reforça a necessidade da utilização de ferramentas que auxiliem nas tomadas de decisões dos gestores públicos. Nesse contexto, esta pesquisa objetivou analisar o consumo de água da população da mesorregião do Agreste Pernambucano, Brasil, e sua relação com indicadores sociais, por meio do conhecimento e estudo da PH.

Material e métodos

Área de estudo

O Estado de Pernambuco é dividido em cinco mesorregiões (Agreste, São Francisco, Sertão, Zona da Mata e Metropolitana) e 19 microrregiões geográficas, de acordo com o

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1991). Na Figura 1 tem-se a localização geográfica da área de estudo.

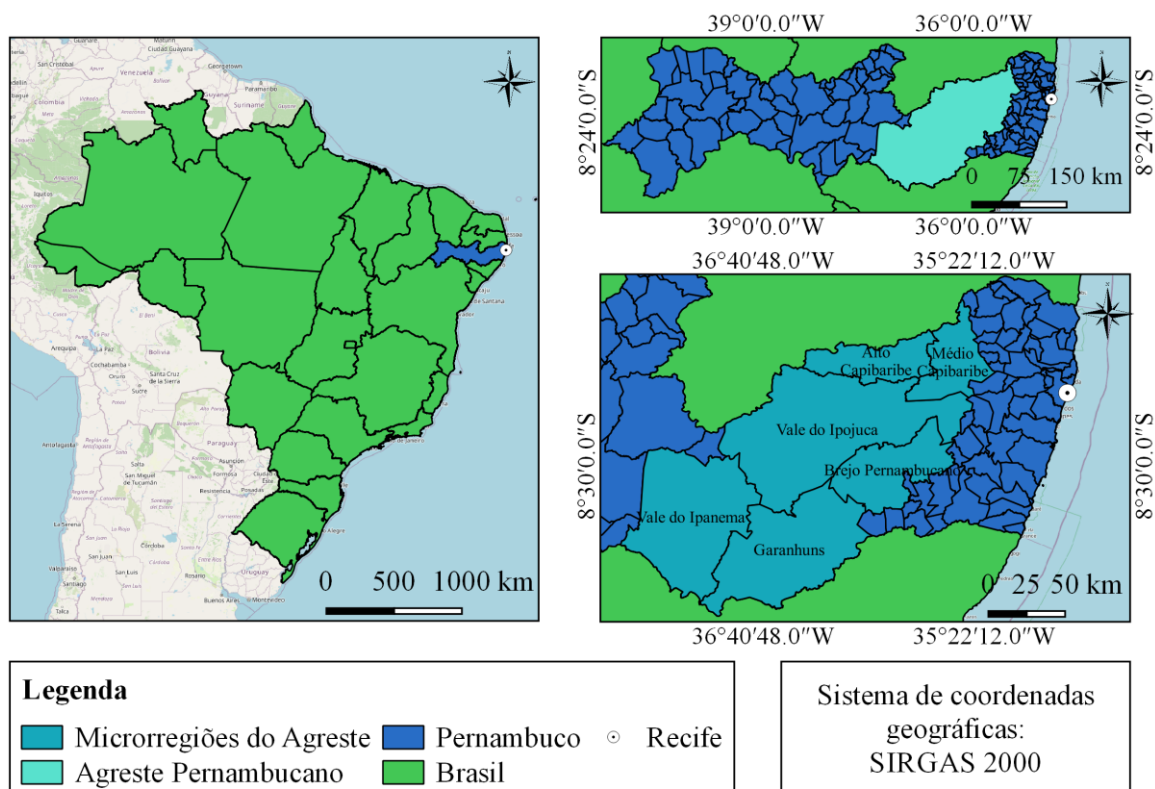


Figura 1. Mesorregião do Agreste Pernambucano

O Agreste Pernambucano possui um clima seco e quente com diminuição de chuvas no verão e temperatura média sempre superior a 25° C. A mínima no verão geralmente fica entre 20 e 25° C, e a máxima entre 30 e 35° C. Os meses mais chuvosos, como destaca Silva (2021), são maio, junho e julho e os mais secos são outubro, novembro e dezembro.

Segundo Alvares *et al.* (2013), o clima da região, considerando a classificação de Köppen, é do tipo semiárido (BSH), com precipitação média anual de 750 mm. O estudo tem como limite geográfico a mesorregião do Agreste, formada pelas microrregiões do Alto Capibaribe, Médio Capibaribe, Brejo Pernambucano, Garanhuns, Vale do Ipojuca e Vale do Ipanema.

Amostragem e análise estatística dos dados

Os consumidores entrevistados fizeram parte de uma amostra de residentes de 37 cidades da região, que possui no total 71 cidades e uma população total estimada de 2.412.364 habitantes, segundo o IBGE (2020). Os entrevistados foram

questionados sobre diferentes aspectos de sua vida cotidiana, tais como: uso direto da água nas residências e uso indireto da água fora do ambiente domiciliar, bem como suas percepções sobre os serviços urbanos.

Para a determinação da PH da população se fez necessário o uso de uma amostra. No presente estudo este cálculo foi baseado no proposto por Levine, Berenson e Stephan (2000), que calcula o tamanho de uma amostra baseada na estimativa da média populacional:

$$n = \frac{Z^2 * \sigma^2}{e^2} \quad \text{Eq. 1}$$

Em que:

n = Tamanho da amostra

Z = Valor crítico que corresponde ao grau de confiança desejado

σ = Desvio-padrão populacional da variável estudada

e = Margem de erro

No presente estudo, como não era conhecido o desvio-padrão, utilizou-se a metodologia proposta por Lutz (2013), em que se avaliam no mínimo 31 valores amostrais e com base nestes dados se calculou o desvio-padrão amostral s a ser adotado no lugar de σ .

Conhecido o erro amostral, o desvio-padrão amostral e adotando um grau de confiança de 99%, obteve-se uma amostra populacional (n) mínima de 181 questionários.

No entanto, foram coletadas 625 respostas, em um período de 12 meses. Os dados foram inseridos, individualmente, na calculadora de PH para encontrar a PH de cada indivíduo. As entrevistas foram estruturadas e realizadas por meio da aplicação de questionários *online*.

Com o resultado de PH para cada indivíduo, as correlações foram analisadas por meio da Estatística Descritiva e baseando-se na classificação proposta por Shimakura (2006), exposta no Quadro 1, os dados foram interpretados.

Nas análises comparativas, optou-se pela análise de variância utilizando o software BioEstat 5.3, teste ANOVA: um critério, com nível de significância de 5%.

Quadro 1. Interpretação do coeficiente de correlação.

Coeficiente de correlação (R)	Interpretação
0,00 a 0,19	Correlação muito fraca
0,20 a 0,39	Correlação fraca
0,40 a 0,69	Correlação Moderada
0,70 a 0,89	Correlação forte
0,90 a 1,00	Correlação muito forte

Fonte: Shimakura (2006).

Elaboração e aplicação de questionários

Para o levantamento de dados, aplicou-se um questionário *online* através da plataforma Formulários Google. O questionário foi baseado nas perguntas da calculadora de PH com a seguinte modificação: foram introduzidos os valores das porções médias dos alimentos para servirem de parâmetro para os entrevistados.

Os questionários foram enviados e divulgados, principalmente, por *e-mail* e redes sociais com o propósito de atingir o maior número de pessoas possível. A Tabela 1 apresenta as características sociodemográficas dos entrevistados.

Tabela 1. Características sociodemográficas dos entrevistados.

Faixa etária (anos)	Número de entrevistados	%
15-20	115	18,40
21-30	365	58,40
31-40	87	13,92
41-50	38	6,08
51-60	13	2,08
>60	7	1,12
Faixa de rendimento anual (R\$)	Número de entrevistados	%
0-12000	324	51,84
12001-36000	254	40,64
36001-120000	39	6,24
>120000	8	1,28

A partir dos dados obtidos no questionário *online*, a PH foi mensurada por meio da calculadora eletrônica *Water Footprint Network* (disponível em <https://waterfootprint.org/en/>), onde utilizou-se a versão estendida da calculadora, versão mais detalhada e precisa que a opção simplificada. Neste método, os coeficientes de estimativa da PH são os valores correspondentes de

água (em volume) pela unidade de cada item do questionário, que multiplicam o valor consumido pelo indivíduo em seus respectivos itens.

Resultados e discussão

Apresenta-se na Figura 2 um exemplo aleatório do resultado da PH de um indivíduo

gerada pela calculadora *online*. Onde os valores dos componentes alimentação, uso doméstico e

industrial foram, respectivamente, 761, 444 e 0 $\text{m}^3.\text{ano}^{-1}$, totalizando 1205 $\text{m}^3.\text{ano}^{-1}$.

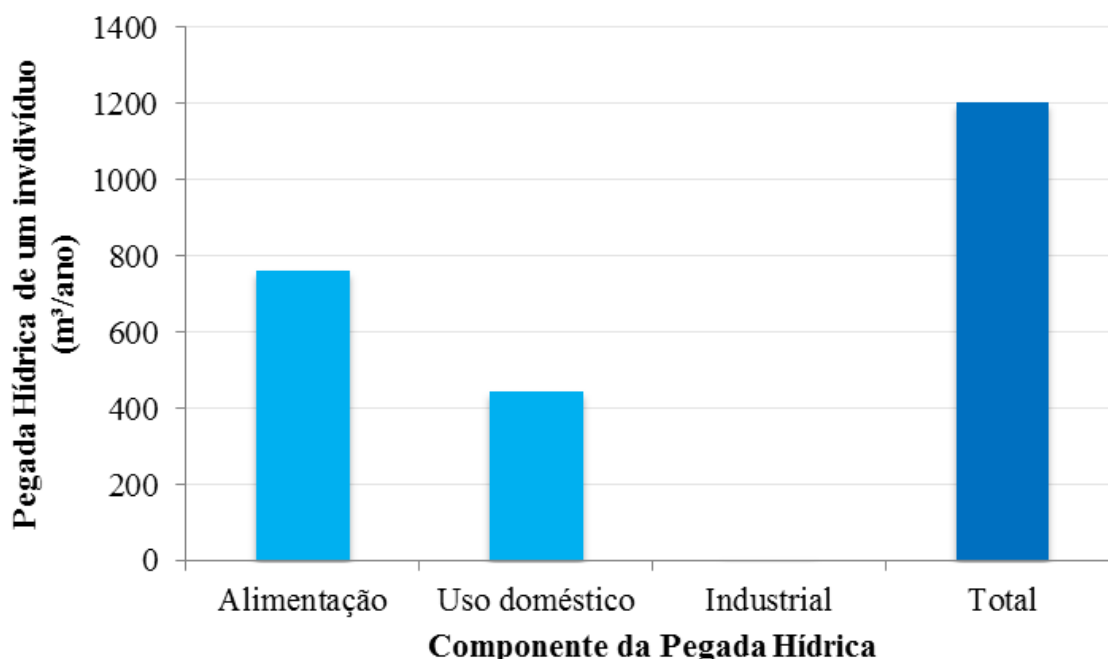


Figura 2. Resultado da Pegada Hídrica de um indivíduo.

A Figura 3 apresenta os valores médios da PH das microrregiões e mesorregião do Agreste. Embora sendo observado um valor médio de PH um pouco inferior para o Alto Capibaribe, as Pegadas Hídricas foram estatisticamente semelhantes ($p=0,5308$), onde obteve-se a razão de variância 0,8936, podendo-se concluir que as regiões do estudo não diferem entre si, de acordo com Callegari-Jacques (2003). Desta forma, foi possível avaliar o valor médio de PH do Agreste Pernambucano como sendo 1128,19 $\text{m}^3.\text{ano}^{-1}$ *per capita*.

Deste resultado, 62,59% estão relacionados com a alimentação dos indivíduos, 22,96% com o uso doméstico da água e 14,45% com o uso industrial. O coeficiente de variação (CV) dos dados foi de 28,70%. Considerando que valores abaixo de $\text{CV}<50\%$ possuem representatividade, pode-se afirmar que os dados

de PH da amostra representam a média de toda população da região estudada.

Yerli e Sahin (2022) estudaram a PH na província de Van, situada em uma região árida na Turquia. O PH foi calculado entre os anos de 2004 a 2019. A PH *per capita* média da província de Van encontrada foi 889,9 $\text{m}^3.\text{ano}^{-1}$, menor que a encontrada no presente estudo, situado em uma região semiárida.

Giacomin e Ohnuma Jr. (2017) encontraram valores similares ao avaliarem o consumo de água de estudantes do ensino superior de uma faculdade particular do Espírito Santo, Brasil. Os valores dos componentes alimentação, uso doméstico da água e industrial dos indivíduos foram 76%, 13% e 11%, respectivamente.

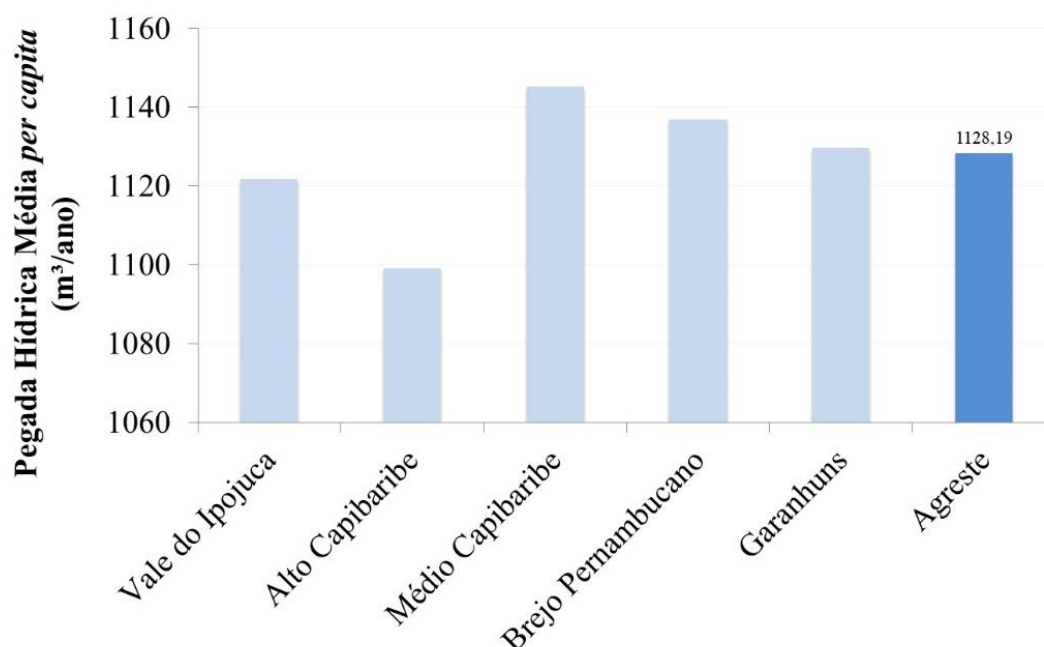


Figura 3. Pegada Hídrica média *per capita* da mesorregião do Agreste.

Por sua vez, Maracajá, Eloi e Silva (2014) determinaram para o estado da Paraíba, um consumo per capita de 796 m³/ano, valor este abaixo 29,44% da PH encontrada no presente estudo (1128,19 m³/ano *per capita*). Corroborando com o presente estudo, Almeida *et al.* (2015) encontraram valores de PH *per capita* abaixo da média nacional e mundial, no município de Pombal, Paraíba, região semiárida do Brasil. O que é justificado por se tratar de uma região semiárida.

O valor médio de PH *per capita* na região Agreste foi 44,34% menor que a média nacional, 18,54% menor que a média mundial e 60,30%

menor que a média dos EUA., 2027, 1385 e 2842 m³.ano⁻¹ *per capita*, respectivamente (Mekonnen; Hoekstra, 2011).

Por outro lado, o valor de PH do presente estudo esteve próximo das médias encontradas na China e Índia, 1105 e 1144 m³.ano⁻¹ *per capita*, respectivamente (Arto e Rueda-Cantuche, 2016). Diante destes resultados, foi possível perceber que os valores de PH da China e Índia são próximos ao observado no Agreste Pernambucano, que possui um Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) menor que tais países, apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. PH e IDH no Agreste Pernambucano, Brasil e diversos locais do mundo.

Local	PH	IDH	Fonte
Agreste pernambucano	1128,19	0,615	Dados do presente estudo
Paraíba	796,00	0,658	Maracajá, Eloi e Silva (2014)
Brasil	2027,00	0,755	Mekonnen e Hoekstra (2011)
Mundo	1385,00	-	Mekonnen e Hoekstra (2011)
Áustria	1597,60	0,885	Vanham (2013)
China	1105,00	0,727	Arto, Rueda-Cantuche (2016)
Espanha	2325,00	0,876	Varela-Ortega <i>et al.</i> (2009)
Estados Unidos	2842,00	0,915	Mekonnen e Hoekstra (2011)
Índia	1144,00	0,609	Arto e Rueda-Cantuche (2016)
Reino Unido	1438,00	0,907	Feng <i>et al.</i> (2011)

Isso se deve, em grande parte, ao baixo consumo de carne vermelha pelos habitantes da mesorregião em estudo, pois, como destacado por Vanham (2013), o consumo de produtos de origem animal é responsável por elevar a PH.

A Figura 4 apresenta a relação entre a Pegada Hídrica per capita e IDH. Pela análise dos dados foi possível demonstrar que o coeficiente de determinação entre IDH e PH *per capita* foi igual a

$R^2=0,67$, com o coeficiente de correlação $R=0,82$, o que indica uma correlação considerada forte.

Nota-se que em países com índices de desenvolvimento humano mais elevados, como por exemplo, os EUA (Tabela 2), onde a população consome mais alimentos, bens e serviços, a tendência é que o valor da PH seja proporcionalmente mais ele

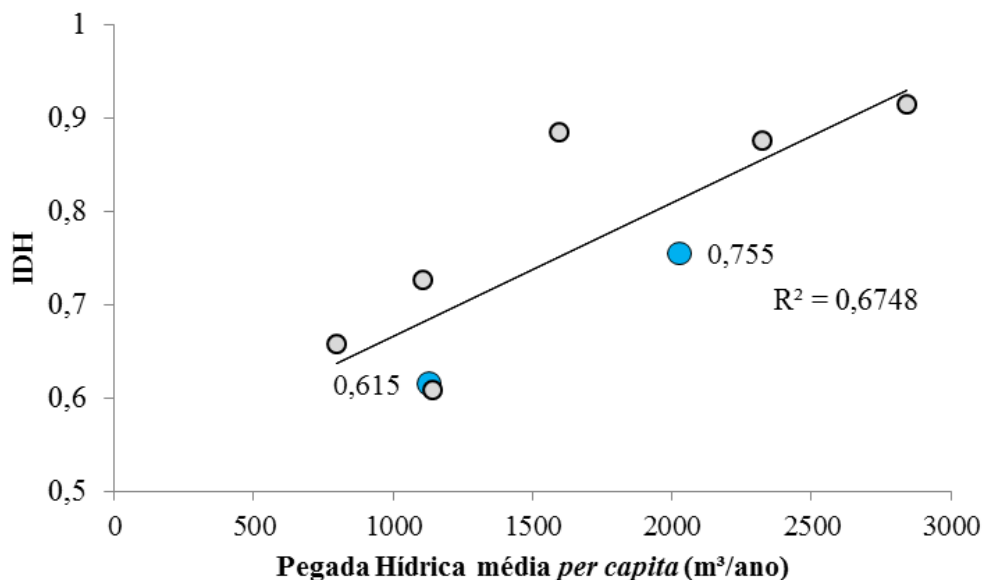


Figura 4. Correlação entre PH *per capita* e Índice de Desenvolvimento Humano (IDH).

As Figuras 5, 6 e 7 apresentam a relação entre o valor de PH *per capita* e seus três componentes: alimentação, uso doméstico e o uso industrial. De acordo com a análise gráfica da Figura 5, o coeficiente de determinação entre o componente “alimentação” e PH *per capita* foi $R^2=0,617$, o que resultou num coeficiente de correlação $R=0,785$, correlação considerada forte. Os coeficientes de determinação entre a PH e os usos “doméstico” (Figura 6) e “industrial” (Figura 7) foram $R^2=0,137$ e $R^2=0,2096$, respectivamente. A correlação foi considerada fraca para a parcela de uso doméstico e moderada para a parcela industrial.

Segundo Hoekstra (2011), a PH indireta de um consumidor é geralmente maior que a direta, tendo em vista que a maior parte do consumo de

água de um indivíduo está associada aos produtos e serviços que ele consome e não à quantidade de água para uso doméstico. Estes resultados demonstram que a alimentação é a parcela preponderante da PH populacional na região do estudo.

Dessa forma, é possível afirmar que para as tomadas de decisão sobre o manejo e utilização da água, devem levar em consideração, sobretudo, o setor de alimentos e toda sua cadeia produtiva. Ainda mais quando, segundo Montoya (2020), na balança comercial, verificou-se no Brasil, em função dos setores da agropecuária e da agroindústria, um saldo exportador líquido de 8.542 hm³/ano de água virtual que abastece a cada ano 79,33 milhões de habitantes no mundo.

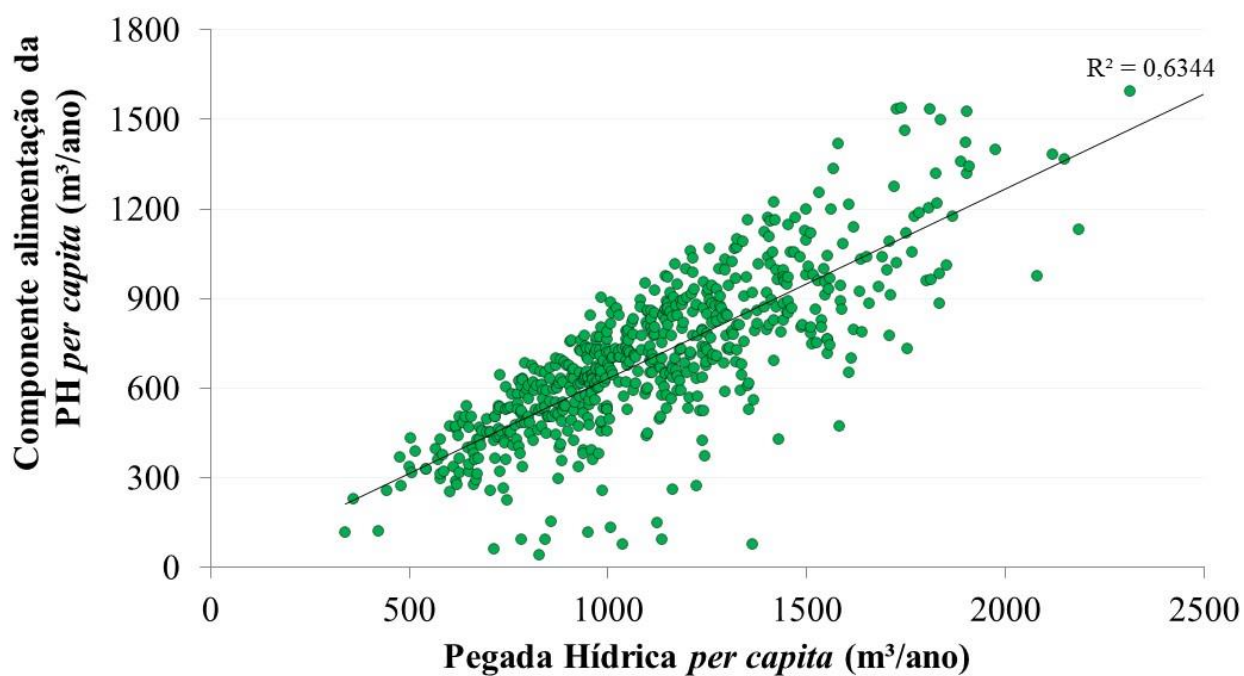


Figura 5. Correlação entre Pegada Hídrica *per capita* e componente alimentação.

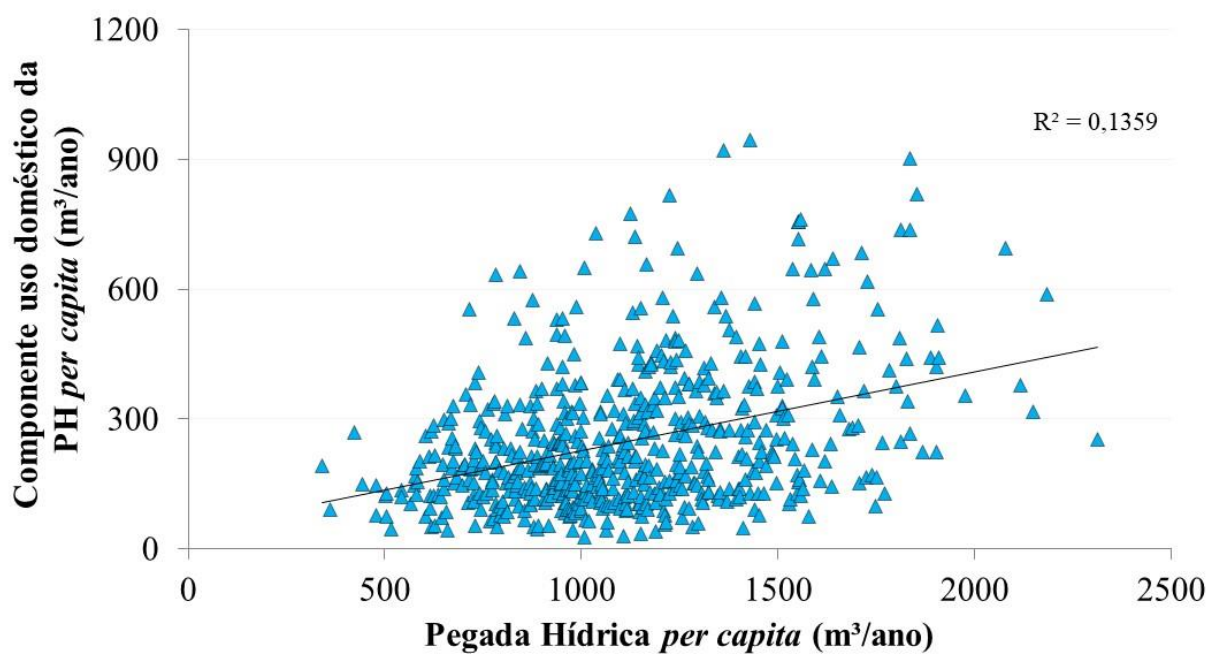


Figura 6. Correlação entre Pegada Hídrica *per capita* e componente uso doméstico.

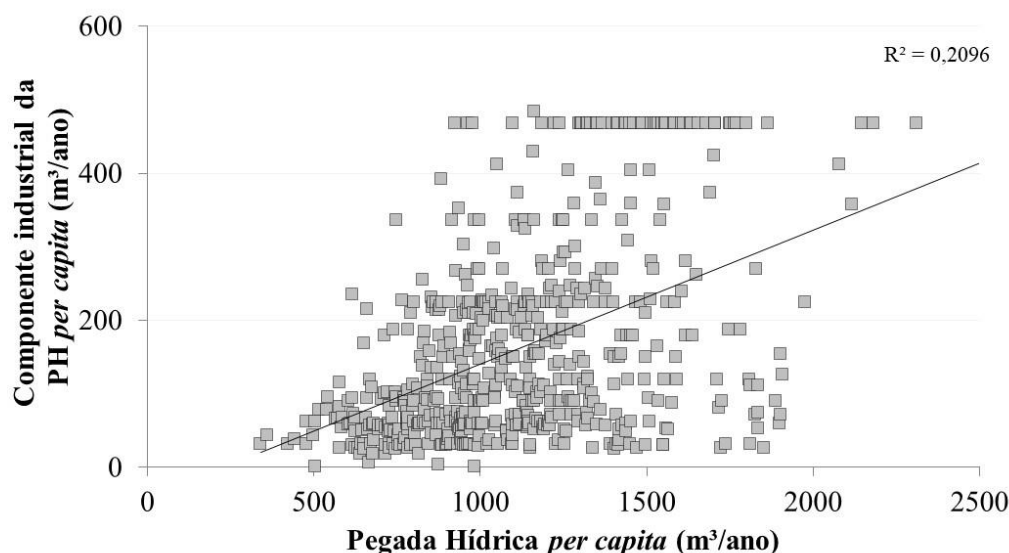


Figura 7. Correlação entre Pegada Hídrica *per capita* e componente industrial.

A Figura 8 apresenta outro aspecto do estudo, a relação entre PH e faixa etária. Pela análise gráfica da Figura 8 foi possível demonstrar que a faixa etária dos indivíduos entre 15 e 20 anos apresentou uma PH média *per capita* cerca de 5% menor e relação à média. Os indivíduos entre 41 e 50 anos obtiveram uma PH média *per capita* 8% maior em relação à média.

Nesse contexto, Vale *et al.* (2021), mostraram que no Brasil, a PH média da alimentação dos adolescentes foi 2925,9 litros/kg – litros de água por quilograma de alimento consumido. Ademais, as PH médias da alimentação desse grupo foram diretamente proporcionais ao número de dias que o adolescente costumava se alimentar em *fast food*.

Esses resultados se devem, principalmente, aos hábitos alimentares dos indivíduos nessas duas faixas etárias, onde a diferença em relação à média da componente alimentação da PH foi cerca de 10% para mais e para menos, na faixa etária de 41 a 50 anos e 15 a 20 anos, respectivamente.

Baracuh Neto *et al.* (2016), em um estudo na microbacia de Riacho Fundo, Paraíba, analisaram a correlação entre PH e idade, segundo as seguintes faixas etárias: 18 anos ou menos, entre 19 e 30 anos, entre 31 e 40 anos, entre 41 e 50 anos, entre 51 e 60 anos e maiores de 61 anos. O coeficiente de correlação obtido foi de 0,629, o que é uma correlação positiva moderada.

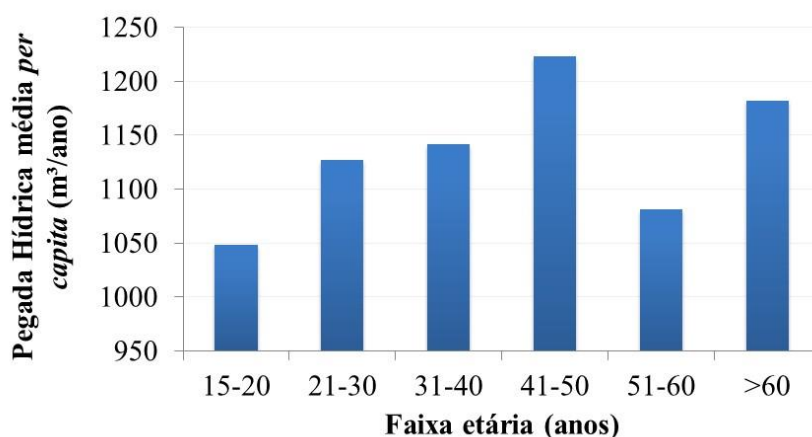


Figura 8. Pegada Hídrica média *per capita* por faixa etária.

A Figura 9 apresenta a média da PH *per capita* das pessoas vegetarianas e não vegetarianas. O que torna mais nítido a significância da componente alimentação no consumo de água pela população em termos de PH. O total de vegetarianos que responderam o questionário

online foi de aproximadamente 6,5%. Obteve-se então, uma PH média *per capita* para a população vegetariana de 598,77 m³.ano⁻¹, sendo 46,9% menor que a média da população não vegetariana, que foi de 1128,19 m³.ano⁻¹.

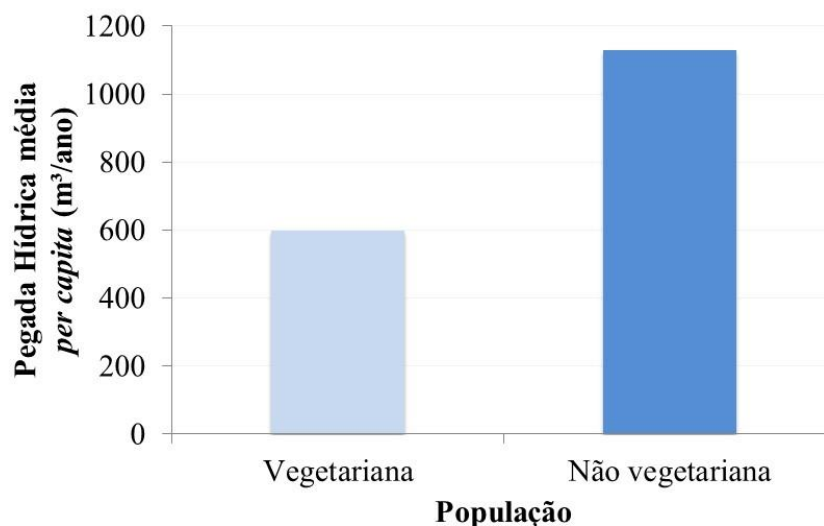


Figura 9. Pegada Hídrica média *per capita* de vegetarianos e não vegetarianos.

Souza *et al.* (2014), em seu estudo realizado na cidade de Fortaleza-CE, observaram valores maiores de PH média para um grupo de pessoas com alto consumo de carne em comparação a vegetarianos, 1985,14 m³.ano⁻¹ e 1137,08 m³.ano⁻¹, respectivamente, uma diferença de 42,7%. Já na pesquisa de Maia *et al.* (2012), os entrevistados não vegetarianos obtiveram uma PH de 2144,00 m³/ano, enquanto que os entrevistados vegetarianos e com hábitos de consumo moderados obtiveram uma PH de 1021,00 m³.ano⁻¹, ou seja, um valor menor 52,4% que a PH dos não vegetarianos.

Apesar dos valores de PH da pesquisa de Maia *et al.* (2012) e Souza *et al.* (2014) serem significativamente maiores que os valores deste estudo, o que ocorreu devido, provavelmente, ao uso da calculadora simplificada de PH, a diferença percentual entre as Pegadas Hídricas de vegetarianos e não vegetarianos mostrou-se aproximada. De acordo com Hoekstra (2020), em países industrializados a PH média dos vegetarianos é de 1032,95 m³.ano⁻¹, cerca de 37% menor que a PH média dos não vegetarianos, que é de m³.ano⁻¹.

No cálculo da PH utilizando o questionário estendido é considerada a renda de cada indivíduo,

assim foi avaliada a correlação entre a renda e os componentes da PH. As Figuras 10a, b, c e d apresentam, respectivamente, as correlações entre a PH *per capita*, a componente alimentação, uso doméstico e industrial da PH com a renda anual de cada indivíduo da amostra. A renda anual da grande maioria dos indivíduos está na faixa de R\$ 3.600,00 a R\$ 36.000,00 por ano. Na Figura 10 observa-se uma tendência linear entre a renda e a PH *per capita* da região em análise, com coeficiente de determinação de R²=0,2228, o que implica em uma correlação R=0,472, considerada moderada.

De acordo Maracajá *et al.* (2013), a relação entre a renda e PH é linear com coeficiente de determinação de 0,89, visto que, geralmente pessoas com maior poder aquisitivo consomem mais produtos, especialmente produtos com PH maiores. No caso do grupo com a menor renda familiar. No estudo desenvolvido pelos autores supracitados na Paraíba, a pegada hídrica da população aumentou em função da renda familiar e diminuiu de acordo com os hábitos alimentares

A componente alimentação, (Figura 10b) apresentou um coeficiente de determinação de R²=0,0824, ou seja, uma correlação R=0,287, considerada fraca. Entretanto, pode-se afirmar que a PH aumenta com o aumento da renda familiar, e

diminui em função dos hábitos alimentares, predominantemente em relação à redução do consumo de carne bovina. Esta, que segundo Rodrigues Júnior e Dziedzic (2021), possui uma PH de 13.074 L.kg⁻¹ na região amazônica brasileira contra uma média mundial de 21.829 L.kg⁻¹.

Ainda, nessa análise da alimentação na composição da PH, vale destacar que é relevante a diferença entre produtos naturais e industrializados, considerando-se que a industrialização requer um volume maior de água para todo o processo da cadeia produtiva dos alimentos.

A Figura 10c apresenta a correlação entre a renda anual com o componente “uso doméstico”. Este componente da PH demonstra a quantidade de

água consumida por uma pessoa relacionada ao seu consumo direto, ou seja, indica a quantidade de água consumida nas atividades diárias (tomar banho, lavar as mãos e fazer a barba, por exemplo).

O gráfico de dispersão da Figura 9c apresenta um coeficiente de determinação de $R^2 = 0,0034$, apresentando um coeficiente de correlação de $R=0,0583$, que é considerada muito fraca. Feijão Neto (2016) obteve resultados similares e afirma que o consumo doméstico de água não depende exclusivamente da renda. Sendo assim, também é necessário considerar outros fatores como a localização geográfica, o clima e a cultura da região.

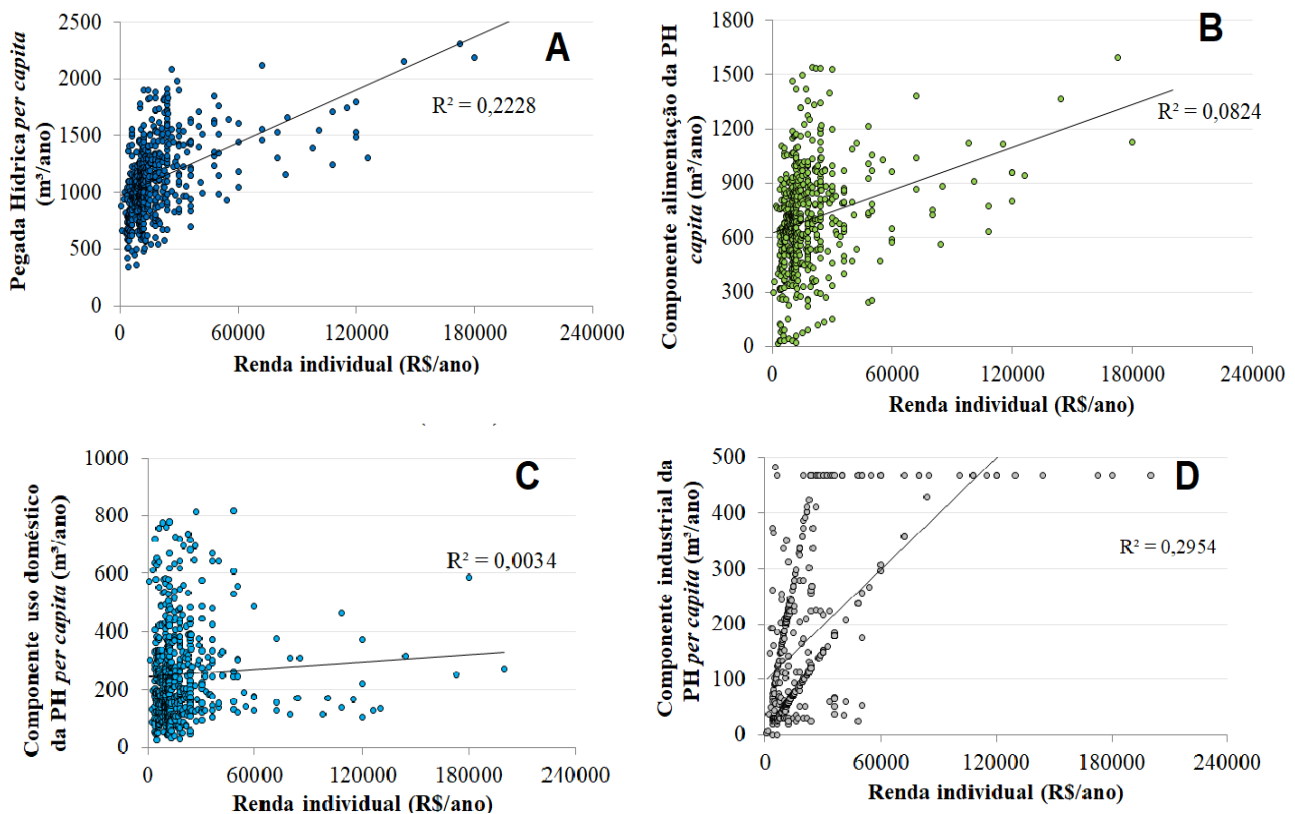


Figura 10. Correlação entre a renda e: (a) Pegada Hídrica per capita, (b) componente alimentação, (c) componente uso doméstico e (d) componente industrial.

Sob outra perspectiva, a Figura 10d demonstra a correlação existente entre a renda e o componente bens industriais da PH. Observa-se um coeficiente de determinação de $R^2=0,2954$, ou seja, o coeficiente de correlação é $R=0,5435$, o que implica numa correlação moderada. Este componente relacionado aos bens industriais quantifica o consumo indireto dos recursos hídricos por um indivíduo de acordo com o seu padrão de consumo, o que corrobora com os

resultados demonstrados anteriormente, visto que, quanto maior a renda maior o poder de aquisição de produtos.

De acordo com o presente estudo, percebe-se que, em relação à quantidade de água, as políticas de conservação dos recursos hídricos devem ser direcionadas principalmente aos hábitos alimentares e a produção agrícola, ao passo que os esforços relacionados às demandas para o consumo doméstico e industrial são menos relevantes para a

região estudada. Nesse sentido, para Farias, Heinrich e Roesler (2020), tem-se a necessidade de uma visão estratégica nas interfaces entre a economia e desenvolvimento sustentável para a valorização da água na composição dos produtos.

No entanto, vale ressaltar que quando se pensa em conservação dos recursos hídricos, há de se pensar também na qualidade da água, e nesta questão algumas atividades industriais podem representar um impacto mais pronunciado no lançamento de poluentes nos corpos receptores, configurando um agravante no que se refere ao manejo e gestão recursos hídricos.

Conclusões

O valor médio de PH per capita da população da mesorregião do Agreste pernambucano esteve abaixo das médias brasileira e mundial, e próxima a países como China e Índia.

A relação entre a renda e os valores de PH é linear, fato associado ao maior consumo observado em populações com maior poder aquisitivo, que geram apresentam maiores demandas por água em seus processos produtivos.

O foco nos hábitos alimentares e a produção agrícola mostrou-se mais relevante do que os esforços relacionados às demandas para o consumo doméstico e industrial.

Para haver redução da PH, devem-se adotar técnicas de produção que utilizem uma menor quantidade de água por unidade de cada produto. Da mesma forma, deve-se pensar em uma agricultura com novas técnicas para captação e uso da água da chuva na irrigação suplementar.

É importante destacar que na gestão dos recursos hídricos, a questão da qualidade da água não pode ser desprezada. Neste sentido algumas atividades industriais, por exemplo, podem contribuir de forma menos pronunciada no consumo de água, mas serem fortemente responsáveis pela poluição dos corpos receptores.

Referências

- Abreu, M. D., Silva-Filho, J. D., Oliveira, B. D.E Holanda-Junior, F. L., 2008. Perfis estratégicos de conduta social e ambiental: estudos na indústria têxtil nordestina. *Gestão & Produção* 15 (1): 159-172
- Almeida, R. R. P. De; Silva, M. A. Da; Crispim, D. L.; Carolino, E. C. De A.; Machado, É. C. M., 2015. A Pegada Hídrica e o Nível da Consciência Ambiental de Três Escolas do Ensino Médio do Município de Pombal-PB. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 10, n. 3, p. 20-24.
<http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v10i3.3554>
- Aldaya, M. M.; Hoekstra, A. Y., 2010. The water needed for Italians to eat pasta and pizza. *Agricultural Systems*, [s.l.], v. 103, n. 6, p. 351-360.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.agry.2010.03.004>
- Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. L. De M.; Sparovek, G., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, [s.l.], v. 22, n. 6, p. 711-728. Schweizerbart.
<http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Arias, A.; Vallina, I.; Lorenzo, Y.; Komesli, O. T.; Katsou, E.; Feijoo, G.; Moreira, M. T., 2018. Water Footprint of a Decentralised Wastewater Treatment Strategy Based on Membrane Technology. *Environmental Water Footprints*, [s.l.], p. 85-119.
http://dx.doi.org/10.1007/978-981-13-2508-3_4
- Arto, I.; Andreoni, V.; Rueda-Cantuche, J. M., 2016. Global use of water resources: a multiregional analysis of water use, water footprint and water trade balance. *Water Resources and Economics*, [s.l.], v. 15, p. 1-14.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.wre.2016.04.0>
- Baracruhy Neto, G. M.; Abreu, B. S. De; Cicciú, B.; Lima, V. L. A. De; Azevedo, C. A. V., 2016. Pegada hídrica e correlação com indicadores socioeconômicos de uma microbacia do estado da Paraíba. In: Congresso Técnico Científico Da Engenharia e da Agronomia, 3, Foz do Iguaçu - Pr. Anais [...] . Foz do Iguaçu - PR: CONFEA, p. 1-4
- Callegari-Jacques, S. M., 2003. Bioestatística: princípios e aplicações. Porto Alegre: Artmed
- Chapagain, A. K.; Hoekstra, A. Y.; Savenije, H. H. G.; Gautam, R., 2006. The water footprint of cotton consumption: an assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries. *Ecological Economics*, [s.l.], v. 60, n. 1, p. 186-203.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.1.027>

- Chapagain, A. K.; Hoekstra, A. Y., 2007. The water footprint of coffee and tea consumption in the Netherlands. *Ecological Economics*, [s.l.], v. 64, n. 1, p. 109-118. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.02.022>
- Chapagain, A. K.; Hoekstra, A. Y., 2011. The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives. *Ecological Economics*, [s.l.], v. 70, n. 4, p. 749-758. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.11.012>
- Chico, D; Aldaya, M. M.; Garrido, A. A., 2013. water footprint assessment of a pair of jeans: the influence of agricultural policies on the sustainability of consumer products. *Journal of Cleaner Production*, [s.l.], v. 57, p. 238-248. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.06.001>
- Costa, M.; Moreira, M.; Silva, D.; Alencar, K.; Coelho, C., 2021. Water Footprint of soybean, cotton, and corn crops in the western region of Bahia State. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 26(5), 971-978
- Dominguez-Faus, R.; Powers, S. E.; Burken, J. G.; Alvarez, P. J., 2009. The Water Footprint of Biofuels: a drink or drive issue? *Environmental Science & Technology*, [s.l.], v. 43, n. 9, p. 3005-3010. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/es802162x>.
- Empinotti, V.; Jacobi, P. R. (org.), 2012. Pegada Hídrica: Inovação, corresponsabilização e os desafios de sua aplicação. São Paulo: Annablume, PROCAM-USP, IEE-USP. Brasília: CNPQ
- Ercin, A. E.; Aldaya, M. M.; Hoekstra, A. Y., 2012. The water footprint of soy milk and soy burger and equivalent animal products. *Ecological Indicators*, [s.l.], v. 18, p. 392-402. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.12.009>
- Farias, C.; Heinrich, R.; Roesler, M., 2020. A invisibilidade da água na produção dos alimentos: interfaces entre economia e desenvolvimento sustentável. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 9(1), 513-523
- Feijão Neto, F. G., 2017. Estudo da Pegada Hídrica no Semiárido Piauiense: a bacia hidrográfica do rio Guaribas. 131 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife
- Feng, K.; Hubacek, K.; Minx, J.; Siu, Y. L.; Chapagain, A.; Yu, Y.; Guan, D.; Barrett, J., 2010. Spatially Explicit Analysis of Water Footprints in the UK. *Water*, [s.l.], v. 3, n. 1, 47-63. <http://dx.doi.org/10.3390/w3010047>
- Gerbens-Leenes, W.; Hoekstra, A. Y., 2011. The water footprint of biofuel-based transport. *Energy & Environmental Science*, [s.l.], v. 4, n. 8, p. 2658-2668. Royal Society of Chemistry (RSC). <http://dx.doi.org/10.1039/c1ee01187a>
- Giacomin, G. S.; Ohnuma Junior, A. A., 2017. Estimativa da pegada hídrica de um grupo de alunos de uma instituição de ensino superior. *Revista Internacional de Ciências*, [s.l.], v. 7, n. 1, p. 49-63. <http://dx.doi.org/10.12957/ric.2017.26113>
- Han, Y.; Jia, D.; Lazhuo, S.; Sauvage, S.; Sánchez-Pérez, J.; Huang, H.; Wang, C., 2018. Assessing the Water Footprint of Wheat and Maize in Haihe River Basin, Northern China (1956–2015). *Water*, [s.l.], v. 10, n. 7, p. 867-884. <http://dx.doi.org/10.3390/w10070867>.
- Hanasaki, N.; Fujimori, S.; Yamamoto, T.; Yoshikawa, S.; Masaki, Y.; Hijioka, Y.; Kainuma, M.; Kanamori, Y.; Masui, T.; Takahashi, K., 2013. A global water scarcity assessment under Shared Socio-economic Pathways – Part 2: water availability and scarcity. *Water availability and scarcity. Hydrology and Earth System Sciences*, [s.l.], v. 17, n. 7, p. 2393-2413. <http://dx.doi.org/10.5194/hess-17-2393-2013>
- 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
- Hoekstra, A. Y., 2020. The Water Footprint of Modern Consumer Society. 2 ed. New York, NY: Routledge. 272 p
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2020. Estimativas de População. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6579>. Acesso em: 01 jun. 2020
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1991. Sinopse preliminar do Censo Demográfico – 1991. 6, 1-91. Rio de Janeiro
- Kannan, N.; Osei, E.; Gallego, O.; Saleh, A., 2017. Estimation of green water footprint of

- animal feed for beef cattle production in Southern Great Plains. *Water Resources and Industry*, [s.l.], v. 17, p. 11-18. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wri.2016.12.002>
- Levine, D. M.; Berenson, M. L.; Stephan, D. F., 2000. Estatística: teoria e aplicações usando Microsoft Excel em português. Rio de Janeiro: LTC. 811 p. Tradução de Teresa Cristina Padilha Souza
- Lutz, M. R., 2013. Amostragem. Alegrete - RS: Instituto Federal Farroupilha. 19 p
- Maia, H. J. L.; Hora, S. C. Da.; Freitas, J. P. De.; Vieira, A. A. P.; Freitas, F. E. de., 2012. A pegada hídrica e sua relação com os hábitos domésticos, alimentares e consumistas dos indivíduos. *Revista Polêm!ca*, [s.l.], v. 11, n. 4, p. 650-660. <https://doi.org/10.12957/polemica.2012.4333>
- Maracajá, K. F. B.; Eloi, L.; Silva, V. De P. R. da., 2014. Regionalização da pegada hídrica do estado da Paraíba. *Reunir: Revista de Administração, Contabilidade e Sustentabilidade*, [s.l.], v. 4, n. 1, p. 105-122. <http://dx.doi.org/10.18696/reunir.v4i1.206>
- Mekonnen, M. M.; Hoekstra, A. Y., 2012. The blue water footprint of electricity from hydropower. *Hydrology and Earth System Sciences*, [s.l.], v. 16, n. 1, p. 179-187. <http://dx.doi.org/10.5194/hess-16-179-2012>
- Mekonnen, M. M.; Hoekstra, A. Y., 2011. National water footprint accounts: the green, blue and grey water footprint of production and consumption. Delft, Netherlands: UNESCO-IHE Institute for Water Education. 2 v. Value of water research report series NO. 50
- Montoya, M., 2020. A pegada hídrica da economia brasileira e a balança comercial de água virtual: uma análise insumo-produto. *Economia Aplicada*, 24(2), 215-248
- PERNAMBUCO. CONDEPE/FIDEM. Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco, 2019. Índice de desenvolvimento humano (IDH). Disponível em <http://www.condepefidem.pe.gov.br/web/condepe-fidem/indice-de-desenvolvimento-humano-municipal-idhm>. Acesso em: 18 out. 2020
- PNUD. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, 2014. Ranking IDH Global. Disponível em <http://www.br.undp.org/content/brazil/pt/ho>me/idh0/rankings/idh-global.html. Acesso em: 18 out. 2020
- Risch, E.; Loubet, P.; Núñez, M.; Roux, P., 2014. How environmentally significant is water consumption during wastewater treatment?: application of recent developments in LCA to WWT technologies used at 3 contrasted geographical locations. *Water Research*, [s.l.], v. 57, p. 20-30. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2014.03.023>
- Rocha, S. R.; Duarte, P. H. G., Campos, J. N. B.; Studart, T. M. de C., 2020. Exportação de água virtual: a pegada hídrica no agronegócio do mamão produzido no Ceará. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, 13(4), 1323-1346. doi: 10.17765/2176-9168.2020v13n4p1323-1346
- Rodrigues Junior, U.; Dziedzic, M., 2021. The water footprint of beef cattle in the amazon region, Brazil. *Ciência Rural*, 51(8). <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20190294>
- Santos, J. P. de O.; El-Deir, S. G.; Alencar, S. K. P. de; Silva, K. A. da; Pessoa, L. A., 2020. Pegada hídrica na mineração: análise de aplicabilidade na extração e beneficiamento da gipsita pernambucana. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, 13(4), 1493-1508
- Scherer, L.; Pfister, S., 2016. Global water footprint assessment of hydropower. *Renewable Energy*, [s.l.], v. 99, p. 711-720. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2016.07.021>
- Shao, L.; Chen, G. Q., 2013. Water Footprint Assessment for Wastewater Treatment: method, indicator, and application. *Environmental Science & Technology*, [s.l.], v. 47, n. 14, p. 7787-7794. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/es402013t>
- Shimakura, S. E., 2006. Interpretação do coeficiente de correlação. Disponível em: <http://leg.ufpr.br/~silvia/CE003/node74.html>. Acesso em: 18 out. 2020
- Silva, M. C. de O., 2021. Abordagem multicritério para análise de sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário com auxílio de dados espaciais de alta resolução. 128 p. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, Pernambuco

- Silva, R.; Silva, V.; Maciel, G.; Silva, P.; Nunes, A.; Naoe, A., 2020. Quantificação da pegada hídrica da soja na região do Matopiba: cenário atual e mudanças climáticas. *Revista de Geografia, Recife, Brasil*, 37(3), 26-46
- Silva Filho, A. R. A.; Duarte, A. D.; Sinesio, E. P.; Silva, G. L.; Santos, S. G., 2021. Classificação, caracterização e diagnóstico das Lavanderias de Beneficiamento de Jeans na Cidade de Caruaru-PE, no Agreste Pernambucano. *Research, society and development*, v. 10, p. 1-16. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i1.12186>
- Souza, J. L.; Rodrigues, F. E. F.; Studart, T. M. C.; Souza Filho, F. A., 2014. Pegada Hídrica de uma Comunidade de Consumidores em Fortaleza/CE/Brasil: Análise das Pegadas Rápida e Estendida na Metodologia 'Water Footprint Network'. *Revista Econômica do Nordeste, Fortaleza*, 45, 17-32
- Spore, T. J., Mekonnen, M. M., Neale, C. M., Watson, A. K., Macdonald, J. C., Erickson, G. E., 2020. Evaluation of the Water Footprint of Beef Cattle Production in Nebraska. *Nebraska Beef Cattle Reports*, 1071
- Vale, D.; Dantas, N.; Souza, C.; Hatjiathanassiadou, M.; Seabra, L., 2021. Pegada hídrica da alimentação de adolescentes do Brasil: relações com o consumo de fast food e o local de moradia. *Research, Society and Development*, 10(12), 1-12
- Vanham, D., 2013. The water footprint of Austria for different diets. *Water Science and Technology*, [s.l.], v. 67, n. 4, p. 824-830. <http://dx.doi.org/10.2166/wst.2012.62>
- Vanham, D.; Bidoglio, G., 2013. A review on the indicator water footprint for the EU28. *Ecological Indicators*, v. 26, p. 61-75. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.10.021>
- Vanham, D.; Bidoglio, G., 2013. The water footprint of Milan. *Water Science and Technology*, [s.l.], v. 69, n. 4, p. 789-795. <http://dx.doi.org/10.2166/wst.2013.759>
- Varela-Ortega, C.; Casado, R. R.; Llamas, M. R.; Novo, P.; Aldaya, M.; Garrido, A., 2009. Water footprint and virtual water trade in Spain. *Water Policy In Spain*, [s.l.], p. 49-59. <http://dx.doi.org/10.1201/9780203866023.ch6>
- Xing, H.; Zheng, W.; Li, B.; Liu, Z.; Zhang, Y., 2019. Water Footprint Assessment of Eggs in a Parent-Stock Layer Breeder Farm. *Water*, v. 11, n. 12, p. 2546-2556. <http://dx.doi.org/10.3390/w11122546>
- Yerli, C.; Sahin, U., 2022. An assessment of the urban water footprint and blue water scarcity: A case study for Van (Turkey). *Brazilian Journal of Biology*, v. 82. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.249745>
- Zhai, Y.; Shen, X.; Quan, T.; Ma, X.; Zhang, R.; Ji, C.; Zhang, T.; Hong, J., 2019. Impact-oriented water footprint assessment of wheat production in China. *Science of The Total Environment*, [s.l.], v. 689, p. 90-98. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.262>
- Zhang, J.; Lei, X.; Chen, B.; Song, Y., 2019. Analysis of blue water footprint of hydropower considering allocation coefficients for multi-purpose reservoirs. *Energy*, [s.l.], v. 188. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2019.116086>