

Pegada hídrica: um estudo sobre a fita adesiva crepe

Bruna Cristina do Nascimento Silva Delanhese

Mestranda em Sustentabilidade, PUC-Campinas, Brasil
bruna_cns@yahoo.com.br

Daniella Ribeiro Pacobello

Mestranda em Sustentabilidade, PUC-Campinas. Brasil
danix_pacobello@hotmail.com

Samuel Carvalho De Benedicto

Professor Doutor, PUC-Campinas, Brasil
samuel.benedicto@puc-campinas.edu.br

Marcos Ricardo Rosa Georges

Professor Doutor, PUC-Campinas, Brasil
marcos.georges@puc-campinas.edu.br

RESUMO

Diante da escassez hídrica global, surgiu o termo “pegada hídrica”, o qual leva em consideração tanto o seu uso direto por um produtor ou consumidor como também o seu uso indireto. Verificou-se também uma escassez de pesquisas referentes a esta temática. O estudo como objetivo identificar a pegada hídrica na produção industrial de fita adesiva do tipo crepe em uma empresa do setor químico e analisar as implicações ambientais desse cálculo para o processo produtivo do segmento. A metodologia utilizada no estudo classifica-se como aplicada, quantitativa, exploratória e explicativa. O estudo conclui que a pegada hídrica dos insumos é superior a pegada hídrica do processo produtivo, ou seja, a pegada hídrica da cadeia de suprimentos (0,34 litros/rolo) é maior do que a pegada hídrica dos processos internos (0,07 litros/rolo). Internamente, o maior consumo de água se deve as atividades industriais (caldeiras e outros equipamentos), seguidos do consumo humano, perdas e evaporação. Apesar da pegada hídrica do processo não ser significativa, não se deve ignorá-la. Orienta-se a reutilização da água evaporada no processo industrial e sempre que possível eliminar o uso da água ao desenvolver novos produtos.

PALAVRAS-CHAVE: Sustentabilidade. Desenvolvimento sustentável. Pegada hídrica. Escassez hídrica. Fita adesiva crepe.

1 INTRODUÇÃO

O meio ambiente tem sido explorado incansavelmente pelo ser humano de maneira ilimitada, usando-o como um dos fatores do sistema econômico, nitidamente focado no pensamento antropocêntrico. O homem tem explorado a natureza, esquecendo que também faz parte dela, ou seja, prejudicando-a, está prejudicando a si mesmo. As consequências de tal exploração são vistos na modernidade como riscos que impactam o planeta Terra como um todo. A busca incessável pelo consumismo exagerado e pelo crescimento econômico causam diversos danos ambientais e tais danos ameaçam a continuidade do planeta assim como a existência humana. Sendo assim, não tem como conceber uma economia a qual não se adequa a um desenvolvimento ecologicamente equilibrado (BELCHIOR; VIANA, 2016). Logo, perante uma situação considerada “caótica” em que o mundo se encontra, cada vez mais se tem falado sobre os termos sustentabilidade e desenvolvimento sustentável.

O termo desenvolvimento sustentável foi definido e divulgado no ano de 1987, através do Relatório Nosso Futuro Comum. Este foi resultado da Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento. O relatório define o desenvolvimento sustentável como sendo “aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade e capacidade das gerações futuras de atenderem às suas próprias necessidades” (JUNQUEIRA; MAIOR; PINHEIRO, 2012, p. 38).

Já em relação ao conceito sustentabilidade, tal termo não pode ser baseado somente na harmonia e equilíbrio para com o meio ambiente, mas deve-se também considerar que suas raízes estão situadas em um relacionamento interno à sociedade, de natureza econômica e politicamente equilibrada e equitativa (RATTNER, 1999).

Do ponto de vista do desenvolvimento sustentável e da sustentabilidade, o mundo encontra-se em uma encruzilhada e uma das preocupações da atualidade refere-se à escassez hídrica global, uma vez que a água é um bem ambiental primordial à vida (CANTELLE; LIMA; BORGES, 2018). Além de ser um elemento essencial para que haja vida no Planeta, no âmbito de atividades econômicas a água contribui para o crescimento econômico de um país, sendo que é usada para o consumo humano e animal, para a produção de alimentos, como matéria-prima de processos produtivos industriais, para a geração de energia elétrica, lazer, entre outras diversas aplicações (MONTROYA, 2020). Diante da relevância deste bem tão precioso que é a água e a preocupação com a sua escassez, cada vez mais se tem procurado meios que garantam a proteção deste elemento.

Perante tal preocupação, surge então o termo “pegada hídrica” o qual leva em consideração tanto o seu uso direto por um produtor ou consumidor como também o seu uso indireto (HOEKSTRA *et al.*, 2011) e tem como ideal reduzir os impactos da escassez de água a qual priva inúmeras pessoas no mundo todo (MARACAJÁ *et al.*, 2012).

A pegada hídrica permite monitorar tanto o consumo quanto os períodos de maior consumo de água, tornando-se assim um indicador de escassez de água, contribuindo para o equilíbrio entre a disponibilidade dos recursos hídricos e a melhor gestão dos mesmos (GIACOMIN; OHNUMA, 2012). Nesse sentido, o consumo de água tem relação com o consumo de produtos que, por conseguinte, apresenta uma pegada hídrica a qual desperta o interesse cada vez maior dos consumidores e empresas (HOEKSTRA *et al.*, 2011).

Ainda segundo Hoekstra *et al.* (2011, p. 61), o cálculo da pegada hídrica de uma empresa oferece uma nova perspectiva para o desenvolvimento de uma estratégia corporativa informativa sobre o uso da água. Isto se deve ao fato de que “a pegada hídrica, como indicador do uso da água, difere do indicador de captação de água nas operações, adotado pela maioria das empresas até o momento”.

No âmbito nacional, a gestão dos recursos hídricos foi marcada pela criação da Lei nº 9.984/2000 que dentre as atribuições institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e a gestão dos recursos hídricos por meio de outorga e cobrança pelo uso da água (RIBEIRO, 2014). Apesar dessa grande conquista, foi somente a partir de 2011, que surgiram os eventos relacionados ao tema pegada hídrica, como por exemplo, o *Regional WFN Partner Exchange Meeting* e o *Regional Water Footprint training course in Brazil*, realizado na cidade de São Paulo (MARACAJÁ; ARAÚJO; SILVA, 2014).

Os brasileiros podem contribuir com redução da pegada hídrica, seja pela mudança de hábitos ou redução do consumo de produtos. Os consumidores devem conhecer a pegada hídrica dos produtos utilizados, para que reflitam naqueles que causem menor ou maior impacto ao meio ambiente (MARACAJÁ, 2019).

Partindo para um pressuposto amplo, a escassez hídrica se faz presente em escala global e é necessário que os governos, as empresas, as comunidades e os consumidores reavaliem o impacto dos seus produtos consumidos e produzidos. Dessa forma, será possível estabelecer ações direcionadas a redução pela demanda de água e orientar o consumo para o local e época o qual não se faz tanta falta (GIACOMIN; OHNUMA, 2012).

O termo pegada hídrica é considerado um tema relativamente novo e pouco percorrido, principalmente no segmento de indústrias químicas. Quando se trata de fitas adesivas, não foram localizados estudos sobre o tema. Diante desse contexto, foi realizado um estudo em uma empresa do setor químico, localizada no interior do estado de São Paulo, buscando atribuir uma resposta à seguinte questão de pesquisa: Qual a pegada hídrica de uma unidade de fita adesiva do tipo crepe e quais implicações ambientais tem esse cálculo para o processo produtivo desse segmento?

A pesquisa tem como objetivo identificar a pegada hídrica na produção industrial de fita adesiva do tipo crepe em uma empresa do setor químico e analisar as implicações ambientais desse cálculo para o processo produtivo do segmento.

2 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E SUSTENTABILIDADE

Atualmente, a degradação ambiental é uma das questões mais discutidas mundialmente nos dias atuais e tal questão está totalmente vinculada à relação antagônica entre o meio ambiente e o homem (OLIVEIRA, 2017).

No final do século XX o mundo vivenciou o crescimento da consciência da sociedade no que diz respeito à degradação ambiental derivado do processo de desenvolvimento. Devido ao aprofundamento da crise ambiental junto à reflexão sobre a influência da sociedade em tal processo fez com que surgisse o conceito desenvolvimento sustentável (BELLEN, 2004).

Em meados da década de 1980, a Assembleia Geral das Nações Unidas originou a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, dirigida por Gro Harlem Brundtland, que no ano de 1987 elaborou o Relatório de Brundtland (ou Nosso Futuro Comum). Tal relatório definiu “O desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem a suas próprias necessidades” (GOLDEMBERG, 2015, p. 33).

Em 1992, ocorreu no Rio de Janeiro, a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento (conhecida também como Rio-92, Eco-92 ou Cúpula da Terra). Nela estiveram presentes 172 países, por volta de 1.400 ONG’s e 10 mil participantes, além de reunir 108 chefes de Estado. Estes buscavam meios de aliar a conservação e proteção do meio ambiente com o desenvolvimento socioeconômico. Dos diversos documentos elaborados pela Rio-92, a Carta da Terra e a Agenda 21 foram os principais (OTERO; NEIMAN, 2015).

No que diz respeito à sustentabilidade, este termo caracteriza tudo aquilo que pode se manter. A palavra “sustentar” tem diversos significados, um destes significados pode ser em relação a algo ininterrupto, ou seja, cíclico, com aspecto de continuidade (VELLANI; RIBEIRO, 2009).

Segundo Boff (2017, p. 33), “sustentabilidade representa os procedimentos que tomamos para permitir que a Terra e seus biomas se mantenham vivos, protegidos, alimentados de nutrientes a ponto de estarem sempre bem conservados e à altura dos riscos que possam advir”.

O autor ainda continua afirmando que “a sustentabilidade se mede pela capacidade de conservar o capital natural, permitir que se recupere, refaça e, ainda, por meio da inteligência humana, possa ser melhorado para entregarmos às gerações futuras não uma Terra depauperada, mas enriquecida e ainda aberta a coevoluir” (BOFF, 2017, p. 119).

Já em relação ao ramo dos negócios, a sustentabilidade é baseada em três dimensões: econômica, social e ambiental. Tais dimensões são conhecidas mundialmente como Tripé da Sustentabilidade (ou *Tripple Bottom Line*) de um negócio (VELLANI; RIBEIRO, 2009).

Ao tratar do Tripé da Sustentabilidade, Boff (2017, p. 45) afirma que:

O conceito foi criado em 1990 pelo britânico John Elkington, fundador da ONG SustainAbility, que se propõe exatamente a divulgar estes três momentos como necessários a todo desenvolvimento sustentável. Ele usou também outra expressão: os três “pês”, Profit, People, Planet (produto/renda, população e planeta), como sustentáculos da sustentabilidade.

Pode-se dizer que a sustentabilidade e o desenvolvimento sustentável são dois termos no qual cada um deles tem as suas características, mas que ambos se complementam (NISTA *et al.*, 2020). Fica claro para qualquer pessoa, que ambos têm o mesmo ideal e

representam algo positivo e bom, seja para o ser humano, para o meio ambiente, ou melhor dizendo, para o planeta de modo geral (FEIL; SCHREIBER, 2017).

A sustentabilidade prevê o uso dos recursos naturais, considerando as atuais e futuras gerações. Nesse aspecto, a água é um importante recurso natural que vem sendo consumido de maneira descontrolada, gerando a escassez hídrica e tantos outros impactos ao meio ambiente. Em meio a essa temática, surge o conceito de pegada hídrica como instrumento para gerenciamento do uso e consumo da água nos mais diversos setores.

2.1 Pegada hídrica

A água é um bem essencial para toda a humanidade. Ela está presente nos alimentos, bebidas, roupas, nas paisagens, na qualidade de vida, entre outros. Ela também desempenha um papel primordial no fornecimento de energia, nas infraestruturas, crescimento econômico, nos cuidados de saúde, na educação e na cultura. O ciclo da água é global. A disponibilidade, utilização e a segurança da mesma transcendem as fronteiras locais, nacionais e até mesmo continentais (GUTHRIE, 2010).

As pressões advindas do crescimento populacional, da intensificação na produção de alimentos, do desenvolvimento de fontes de energias que dependem da água, e do crescimento econômico fizeram com que ocorresse o aumento no consumo de água. Entretanto, a crescente demanda por água e as limitadas possibilidades de promover sua oferta faz com que haja a necessidade de novas práticas e ferramentas de gestão as quais propiciem a utilização eficiente da água no consumo, distribuição e no processo produtivo e que estimulem a racionalização do uso deste bem (RIBEIRO, 2014).

Diante da incontestável relevância que a água tem na vida do ser humano e dos demais seres vivos, tem-se discutido cada vez mais sobre a crise hídrica global. A mesma tem estado incessantemente nas agendas dos governantes, comunidades acadêmicas e científicas, organizações não-governamentais, opinião pública e órgãos de comunicação social (SEIXAS, 2011). Perante tal situação faz-se necessário uma mudança brusca no modo de se viver em sociedade e rever os princípios de exploração dos recursos naturais, de maneira a inverter a tendência do rápido desaparecimento dos recursos hídricos que já é nítido nos dias atuais e que tem como tendência agravar-se em um futuro próximo (FALSARELLA *et al.*, 2021).

Sabe-se que a água é um fator de produção essencial e que o mesmo auxilia tanto diretamente quanto indiretamente a atividade econômica em todos os setores e regiões da economia global. Sendo assim, sua escassez pode, por conseguinte, ir além de ter consequências para as pessoas, para a sociedade e para os sistemas ecológicos, mas também trazer efeitos negativos para o crescimento econômico (DISTEFANO; KELLY, 2017).

Na última década presenciou-se um crescente interesse na investigação sobre a questão da pegada hídrica devido a crescente sensibilização das pessoas em relação à conservação da água e a aceitação generalizada do uso sustentável (ZHANG *et al.*, 2017).

O conceito pegada hídrica surgiu em 2002, no decorrer de uma reunião de peritos que discutiam sobre o comércio internacional de água virtual, em Delf, na Holanda, pelo Arjen Hoekstra. O ideal da pegada hídrica é reduzir os impactos da escassez de água a qual priva inúmeras pessoas no mundo todo, a fim de que suceda uma melhor gestão hídrica de tal recurso impedindo, assim, a exploração em locais mais escassos, e então direcionando o consumo para locais que apresentem maior abundância de água doce (MARACAJÁ *et al.* 2012). O termo água virtual, citado anteriormente, representa a água incorporada em produtos,

enquanto a pegada hídrica refere-se à água necessária para a produção de um produto (BLENINGER; KOTSUKA, 2015).

Segundo Hoekstra *et al.* (2011), a Pegada hídrica representa um indicador do uso da água, o qual leva em consideração tanto o seu uso direto por um produtor ou consumidor como também o seu uso indireto. Em outras palavras, a pegada hídrica de um produto refere-se ao volume de água que é usado para produzi-lo, medida no decorrer da cadeia de produção. Há três tipos de pegadas hídricas: a azul, verde e a cinza. A pegada hídrica azul de certo produto condiz ao consumo de água azul, ou seja, água superficial e subterrânea. Vale ressaltar que o termo “consumo” diz respeito a perda de água disponível em uma bacia hidrográfica. A pegada hídrica verde refere-se ao consumo da água verde, ou seja, água da chuva, desde que não escoe. E por fim, a pegada hídrica cinza diz respeito à poluição, sendo definida como o volume de água doce que é preciso para assimilar a carga de poluentes.

Hoekstra *et al.* (2011, p.3-4) ainda afirmam que:

A avaliação da pegada hídrica refere-se a um amplo escopo de atividades, visando: (i) quantificar e localizar a pegada hídrica de um processo, produto, produtor ou consumidor ou quantificar no espaço e no tempo a pegada hídrica em uma determinada área geográfica; (ii) avaliar a sustentabilidade ambiental, social e econômica dessa pegada hídrica; e (iii) formular estratégias de resposta. Em termos gerais, o objetivo de quantificar as pegadas hídricas é analisar como atividades humanas ou produtos específicos se relacionam com as questões de escassez e poluição da água e verificar como atividades e produtos podem se tornar mais sustentáveis sob o ponto de vista hídrico.

Para calcular a pegada hídrica de um produto é necessário entender como funciona toda a cadeia produtiva dele, no qual se faz necessário a identificação do sistema de produção. Tal sistema compreende numa sequência de etapas do processo (SEIXAS, 2011).

Vale ressaltar que é possível calcular a pegada hídrica de um produto, de uma comunidade, de um consumidor, de uma empresa e de uma área geograficamente delimitada (HOEKSTRA *et al.*, 2011).

No que diz respeito às utilidades relacionadas a pegada hídrica, a mesma proporciona uma noção global da gestão dos recursos hídricos; reconhece e promove alternativas para minimizar o *stress* hídrico; auxilia na análise do uso de energias alternativas; oferece às empresas uma nova maneira de controlar a sua dependência dos recursos hídricos no decorrer da sua cadeia de abastecimento, entre outros pontos (SEIXAS, 2011).

É essencial entender a importância da pegada hídrica, para assim compreender que a maioria da água que o um indivíduo consome diariamente não vem das torneiras de sua residência, e sim dos produtos que ele usa e consome (GIACOMIN, 2012).

2.2 Pegada hídrica no Brasil

As primeiras aparições sobre a pegada hídrica no Brasil surgiram entre os anos 2010 e 2011, sendo que os primeiros setores produtivos a empregarem foram os setores: industrial (bebidas, celulose, cosmético) e o setor pecuário (MARTINS, 2014).

De modo a disseminar o termo pegada hídrica no Brasil, a *The Nature Conservancy* promoveu, junto ao WWF, a Escola de Engenharia de São Carlos e a Rede da pegada hídrica (*Water Footprint Network*), o 1º Curso Regional sobre pegada hídrica no país. A palestra foi realizada pelo professor Arjen Hoekstra, da Universidade de Twente (na Holanda). Hoekstra foi

o criador do conceito pegada hídrica e diretor científico da rede. A palestra contou com cerca de 50 participantes de várias instituições e setores (TNC, 2011).

Além disso, no Brasil, a *The Nature Conservancy* também atua em parceria com empresas de modo a calcular, diminuir e suprir a pegada hídrica de suas plantas industriais, e participa de respeitadas fóruns globais de conservação de água, como por exemplo, a Rede da pegada hídrica e a Aliança pelo Uso Responsável da Água. Vale ressaltar que, nos dias atuais, um a cada dez cidadãos brasileiros consomem a água que a *The Nature Conservancy* ajuda a proteger (TNC, 2011).

Recentemente têm surgido trabalhos relacionados à pegada hídrica no Brasil. No entanto, ao contrário do que ocorre em outros países, o conceito pegada hídrica ainda é muito pouco abordado e difundido no Brasil. São poucos os trabalhos que abordam tal temática com foco na análise nacional. Isso se deve tanto ao fato desta questão ainda ser “relativamente” recente, como também devido à presença de diversos biomas e condições econômicas, climáticas, socioambientais e culturais do país, os quais podem reproduzir resultados pouco precisos e também ocorrer a dificuldade na obtenção de dados (MARTINS, 2014).

2.3 Agricultura - Setor que mais utiliza água doce

Segundo Maracajá *et al.* (2012) a agricultura é o setor que mais utiliza água doce, o qual corresponde a 70% do consumo de água total do planeta Terra. E em contrapartida, o setor industrial utiliza em torno de 22% e o uso doméstico 8%. Logo, o tamanho da pegada hídrica mundial é definido através do consumo de alimentos, consumo industrial e consumo doméstico.

Em relação à agricultura, a sua pegada hídrica corresponde a $6.390 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{ano}$. Já a pegada hídrica doméstica e da indústria correspondem, respectivamente, à $344 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{ano}$ e $71610^9 \text{ m}^3/\text{ano}$. Logo fica claro que o setor produtivo que mais consome água é o setor da agricultura irrigada (NASCIMENTO *et al.*, 2021).

A água doce tem se tornado cada vez mais um recurso global, incitado pelo aumento do comércio internacional de *commodities*, o qual é responsável por um elevado consumo de água. Há mercados mundiais que negociam produtos com elevado consumo de água, provenientes da agricultura e pecuária. Todavia, os governos não possuem uma visão completa da sustentabilidade do consumo nacional. Diversos países têm externalizado a sua pegada hídrica sem averiguar se os produtos importados têm ligação com a sua poluição nos países produtores ou com esgotamento da água (SEIXAS, 2011).

A utilização dos recursos hídricos tornou-se espacialmente desconectado dos consumidores. Tal fator pode ser averiguado, por exemplo, através do caso do algodão, ou seja, do campo até o produto final. O algodão percorre por vários estágios de produção com diversos impactos sobre os recursos hídricos. Tais estágios de produção são, muitas vezes, em diferentes lugares e o consumo final pode estar em outra parte (HOEKSTRA *et al.*, 2011).

Um exemplo de falta de água doce é o que ocorre na região Nordeste brasileiro. A mesma sofre há tempos com a falta de água doce em virtude da estiagem. Logo a produção agrícola deve trabalhar com o mínimo de água sem perder a qualidade do produto. Sendo assim, a pegada hídrica se faz mais do que necessária para a agricultura nordestina, uma vez que com o seu uso é possível identificar em qual estágio da produção existe maior desperdício de água e corrigir o problema (NASCIMENTO *et al.*, 2021).

Sendo assim, a pegada hídrica é um método de grande utilidade e essencial na tentativa de diminuir o uso da água no setor agrícola (NASCIMENTO *et al.*, 2021).

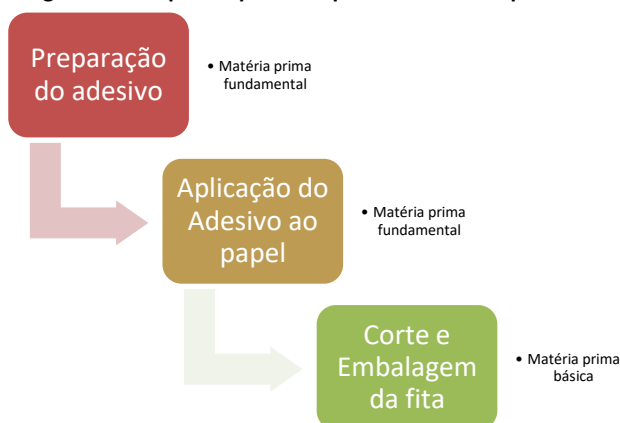
3 METODOLOGIA

Para Hoekstra *et al.* (2011), o cálculo da pegada hídrica de um processo produtivo é aplicado considerando o consumo e a poluição de água em todas as etapas da cadeia produtiva. Nesse sentido, optou-se pelo “Método Sequencial Cumulativo”, proposto por Hoekstra *et al.* (2011), na qual é considerado a somatória da pegada hídrica dos insumos e dos processos, o peso e o preço do produto e insumos.

A pesquisa é de natureza aplicada com abordagem quantitativa, objetivo exploratório e explicativa, conforme instruído por Gil (2019).

Foi realizado o cálculo da pegada hídrica para fabricação de 1 (um) rolo de fita adesiva de 48X50mm, do tipo crepe em uma empresa do setor químico, localizada no interior do estado de São Paulo, Brasil, na cidade de Sumaré. O produto escolhido para cálculo da pegada hídrica, consome grande quantidade de água, comparado ao processo de fabricação de outros produtos. Além disso, o produto é fabricado e vendido com muita frequência para todo o Brasil. Tais fatores evidenciam a importância do presente estudo. A Figura 01 apresenta sinteticamente as etapas do processo produtivo usadas para o cálculo da pegada hídrica da fita adesiva.

Figura 01 - Etapas do processo produtivo usadas para o cálculo da pegada hídrica.



Fonte: Elaborada pelos autores.

A quantificação da pegada hídrica teve como base, o consumo de água dos insumos básicos, tais como caixa de papelão, arruela, filme e insumos fundamentais para o processo produtivo que se concentram na etapa inicial de produção e fase de aplicação dos produtos químicos ao produto. Os dados levantados da matéria prima compreenderam o consumo direto, ou seja, os dados de insumos, considerando apenas o processo de produção da matéria prima, sem mapear a cadeia de insumos da própria matéria prima.

Em linhas gerais, a água é consumida em todas as etapas de fabricação da fita autoadesiva e processos administrativos, conforme evidenciado na Figura 02. No entanto, para esse estudo considerou-se apenas o consumo de água dos insumos e processo fabril, para que o resultado seja fidedigno na identificação da pegada hídrica do produto estudado.

Figura 02 - Etapas do processo produtivo usadas para o cálculo da pegada hídrica.

Fonte: Elaborada pelos autores.

O consumo de água humano, as perdas, a evaporação, a irrigação, o reuso de água e o descarte de efluentes foi excluído da base de cálculo da pesquisa.

4 RESULTADOS

O cálculo da pegada hídrica foi realizado por meio das equações relacionadas neste estudo. A equação $PH_{prod} [p]$ indica a fração do produto final, portanto fornece a pegada hídrica total do produto, cuja unidade de medida é kg/m^2 .

A equação a seguir foi utilizada para o cálculo da pegada hídrica do produto em questão.

$$PH_{prod} [p] = (PH_{proc} [p] + \sum_{i=1}^y \frac{PH_{prod} [i]}{f_p [p, i]}) \cdot f_v [p]$$

Onde:

$PH_{prod} [p]$ = pegada hídrica do produto final “p” (m^2/kg).

$PH_{proc} [p]$ = pegada hídrica do insumo “i” (m^2/kg).

$PH_{prod} [i]$ = pegada hídrica do processo que transforma matérias-primas “y” no produto final “z” (m^2/kg).

$f_p [p, i]$ = Fração do produto final (Kg)

$f_v [p]$ = Fração de valor (R\$/Kg)

Para se obter a fração do produto final $f_p [p, i]$, indicada na equação anterior, utilizou-se a seguinte equação:

$$f_p [p, i] = \frac{\text{peso} [p]}{\text{peso} [i]}$$

Onde:

Peso $[p]$ = peso do produto final

Peso $[i]$ = peso de cada insumo

Já a fração de valor $f_v [p]$, foi definida por meio da equação:

$$f_v [p] = \frac{\text{preço}[p] \cdot \text{peso} [p]}{\sum_{p=1}^z (\text{preço}[p] \cdot \text{peso} [p])}$$

Onde:

Preço $[p]$ = preço do produto

O denominador e o somatório dos “z” produtos finais ($p=1$ a z) que resultaram dos insumos.

O cálculo da pegada hídrica da fita adesiva crepe, considerou as medidas de 48x50 mm e a metragem de 2,4m². Os resultados obtidos se encontram expressos no Quadro 01:

Quadro 01: Cálculo da pegada hídrica da fita adesiva crepe.

Resultados		Unidade de medida
PH prod [p]	0,11	Kg/rolo
PH proc [p]	0,07	litros/rolo
PH prod	0,34	litros/rolo
fp [p, i]	2.759,46	não aplicável
fv [p]	3,69	não aplicável

Fonte: Elaborado pelos autores, com base nos dados da pesquisa.

O Quadro 01 apresentou o cálculo da pegada hídrica para fabricação de um rolo de fita adesiva crepe equivale a 0,11kg de água. Nota-se que a pegada hídrica da cadeia de suprimentos (0,34 litros/rolo) é maior do que a pegada hídrica dos processos internos (0,07 litros/rolo).

Como sugestão, poderia ser elaborado possíveis estudos para minimizar as pegadas hídricas dos fornecedores. O presente estudo pode influenciar positivamente nesse aspecto. A pegada hídrica de um ponto isolado, somada as pegadas hídricas de outras empresas, pode contribuir com a mensuração da quantidade de água doce disponível *versus* consumida.

Vale salientar que neste estudo calculou-se somente a pegada hídrica do produto, sem considerar a pegada hídrica azul, que compreende o uso consultivo de água doce ou subterrânea.

Para efeito de informação, a pegada hídrica azul considera em seu cálculo a água evaporada, incorporada ao produto e a vazão de retorno perdida que não está disponível para reuso na mesma bacia hidrográfica. Nesse contexto, o produto em questão, sofre apenas a evaporação que é equivalente a água adicionada ao processo industrial. Assim conclui-se que a pegada hídrica azul é equivalente a pegada hídrica do processo.

Já a pegada hídrica verde é comumente utilizada para produtos agrícolas e florestais e equivale ao total de água da chuva somado a água incorporada aos produtos agrícolas e florestais. Por esse motivo a pegada hídrica verde não se aplica ao objeto de estudo.

No caso da pegada hídrica cinza, o efluente da empresa estudada, se enquadra na fonte pontual de poluição difusa, onde há captação subterrânea e lançamento superficial.

A água consumida no processo produtivo para resfriamento de equipamentos, estufas e caldeiras são reaproveitadas internamente, por meio de um ciclo de reuso. Todo o esgoto gerado, tratado e descartado em água superficial, provém do consumo humano, portanto admitiu-se que a pegada hídrica cinza do produto é igual a zero.

O Quadro 02 apresenta algumas diretrizes que contribuem para diminuição da pegada hídrica.

Quadro 02 - Diretrizes para minimizar a pegada hídrica.

DIRETRIZES DIRECIONADAS AO PRODUTO
Pegada hídrica azul nula: sem perdas de evaporação – reciclagem total.
Acordar metas de redução com os fornecedores: substituição de fornecedores, ter maior ou total controle sobre a cadeia produtiva e alterar o modelo de negócio para incorporar ou ter maior controle da cadeia produtiva.
Evitar o uso de água ao desenvolver novos produtos, sempre que possível.
DIRETRIZES GERAIS
Investir no aperfeiçoamento da gestão e no uso sustentável da água na bacia onde a pegada hídrica (residual) da empresa estiver localizada.
Obter a pegada hídrica cinza nula: sem poluição – reciclagem total e tratamento das vazões de retorno. A redução de 1 m ³ na pegada hídrica em uma bacia é equivalente a redução da mesma quantidade da pegada hídrica em outra bacia, mesmo quando esta apresentar maior escassez ou nível mais alto de poluição da água do que a outra. A razão para isso é que considerando a disponibilidade limitada dos recursos hídricos no mundo – qualquer diminuição na pegada hídrica contribuirá para reduzir a demanda total em relação aos recursos hídricos.

Fonte: Hoekstra (2011, p. 101) e revisada pelos autores (2022).

Cabe ressaltar que as diretrizes do Quadro 02, são optativas. Uma vez implementadas, acredita-se que o resultado será positivo. Após a análise dos resultados concluiu-se que as diretrizes indicadas, são as mais relevantes, porém não se limitam a elas, podendo assim desenvolver novos mecanismos para a contribuição hídrica.

5 CONCLUSÕES

O estudo buscou identificar a pegada hídrica na produção industrial de fita adesiva do tipo crepe e analisar as implicações ambientais desse cálculo para o processo produtivo em empresas do setor químico.

Percebeu-se no estudo que há escassa literatura sobre a pegada hídrica. Isso explica a incompreensão da sociedade sobre as dimensões do consumo de água para atender a economia, a escassez dos recursos hídricos devido ao consumo exacerbado de água e a poluição causada pelo lançamento de carga orgânica em rios.

A pegada hídrica considera o uso direto e indireto da água e nada mais é do que um indicador do uso da água nos mais diversos setores, tais como consumidores, processos, empresas, determinado tipo de produto e até de maneira mais abrangente considerando, por exemplo, uma determinada localização geográfica ou até mesmo um país inteiro.

No Brasil, já existem meios para implementação da pegada hídrica, como por exemplo, disseminação de cursos por todo o país, parcerias com empresas para diminuir e suprir a pegada hídrica de suas plantas industriais, e participação em fóruns globais de conservação de água.

Apesar das dificuldades de obtenção de dados junto aos fornecedores e a complexidade do assunto, o presente estudo, alcançou o objetivo desejado de calcular a pegada hídrica da fita adesiva crepe e propor diretrizes norteadoras para minimização da pegada hídrica.

Concluiu-se através do presente estudo que a pegada hídrica dos insumos é superior a pegada hídrica do processo produtivo. O ponto de partida para diminuir a pegada hídrica dos insumos poderá ser obtido pela reavaliação da cadeia de fornecedores ou substituição deles. Em último caso, é possível intercalar a compra de insumos entre os fornecedores reserva, no entanto, essa ação depende intrinsecamente dos custos associados a matéria prima.

Apesar de a pegada hídrica do processo não ser significativa, não se deve ignorá-la. Orienta-se a reutilização da água evaporada no processo industrial e sempre que possível minimizar o uso da água ao desenvolver novos produtos.

Para obter dados mais concretos, é recomendável para estudos futuros, o cálculo da pegada hídrica de todos os produtos da empresa do estudo, considerando os respectivos processos e provedores de insumos, conforme descrito na Tabela 01. Atualmente, o maior consumo de água se deve as atividades industriais (caldeiras e outros equipamentos), seguidos do consumo humano, perdas e evaporação.

Tabela 01 - Exemplos de componentes da pegada hídrica de uma empresa.

<i>Pegada hídrica operacional</i>		<i>Pegada hídrica da cadeia de suprimento</i>	
<i>Pegada hídrica diretamente associada à elaboração dos produtos da empresa</i>	<i>Pegada hídrica adicional</i>	<i>Pegada hídrica diretamente associada à elaboração dos produtos da empresa</i>	<i>Pegada hídrica adicional</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Água incorporada no produto. • Água consumida ou poluída através de um processo de lavagem. • Água poluída termicamente devido ao uso de refrigeração. 	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo ou poluição da água relacionados ao uso da água em cozinhas, limpeza, jardinagem ou lavagem de roupas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pegada hídrica dos ingredientes do produto comprado pela empresa. • Pegada hídrica de outros itens comprados pela empresa para processar seus produtos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pegada hídrica de infraestrutura (materiais de construção, etc). • Pegada hídrica de energia e materiais de uso geral (materiais de escritório, carros e caminhões, combustível, eletricidade, etc).

Fonte: Hoekstra (2011).

Indica-se que sejam elaboradas novas pesquisas para desenvolver o cálculo da pegada hídrica de outros produtos semelhantes, com o intuito de verificar a pegada hídrica da empresa como um todo. A partir dessa estimativa, calcular a pegada hídrica azul, verde e cinza para definição mais clara da pegada hídrica total.

Em geral, as empresas estimam o consumo de água interno, o que é extremamente importante. Entretanto, deve-se ampliar essa análise para compreender o impacto (extração de recurso natural, poluição da água etc.) com relação às partes interessadas (bacia hidrográfica, comunidade e cadeia de suprimentos).

A pegada hídrica deve ser um assunto fortemente implementado em todos os segmentos e setores econômicos (exemplo agricultura). Considerando desde um produto em específico até a nível nacional e global, sua importância é indiscutível.

6 AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Os autores agradecem a empresa estudada pelo consentimento para realização do estudo e aos colaboradores que forneceram gentilmente as informações necessárias para alcançar o objetivo da pesquisa.

7 REFERÊNCIAS

- BELCHIOR, G. P. N.; VIANA, I. C. Sustentabilidade e meio ambiente: reflexões sob o olhar da complexidade. **Arel Faar – Amazon's Research and Environmental Law**, Ariqueemes, v. 4, n. 1, p. 72-90, Jan. 2016. <https://doi.org/10.14690/2317-8442.2016v4i1183>
- BELLEN, H. M. V. Desenvolvimento sustentável: uma descrição das principais ferramentas de avaliação. **Ambiente e Sociedade**, Campinas, v. 7, n. 1, p. 01-22, Jan./Jun. 2004. <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2004000100005>
- BLENINGER, T.; KOTSUKA, L. K. Avaliação dos conceitos de água virtual e pegada hídrica na gestão de recursos hídricos: estudo de caso da soja e óleo de soja. **Recursos Hídricos**, v. 36, n. 1, p. 15-24, maio, 2015. <https://doi.org/10.5894/rh36n1-2>
- BOFF, L. **Sustentabilidade: o que é – o que não é**. 5. Ed. Petrópolis-RJ, 2017.
- CANTELE, T. D.; LIMA, E. C.; BORGES, L. A. C. Panorama dos recursos hídricos no mundo e no Brasil. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, v. 11, n. 4, p. 1259-1282, Out./Dez. 2018. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2018v11n4p1259-1282>
- DISTEFANO, T.; KELLY, S. Are we in deep water? Water scarcity and its limits to economic growth. **Ecological Economics**, v. 142, p. 130-147, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.019>
- FEIL, A. A.; SCHREIBER, D. Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: desvendando as sobreposições e alcances de seus significados. **Cadernos EBAPE.BR**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 3, p. 667-681, Jul./Set. 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/1679-395157473>
- FALSARELLA, O. M. *et al.* Sustainable development in watershed: Proposal for a knowledge management system. **International Journal of Humanities and Social Science**, v. 11, p. 29-37, 2021. <https://doi.org/10.30845/ijhss.v11n3p4>
- GIACOMIN, G. S. Análise de resultados de pegada hídrica por países e produtos específicos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 8, n. 8, p. 1562-1572, Set./Dez. 2012. <http://dx.doi.org/10.5902/223611706721>
- GIACOMIN, G. S.; OHNUMA, A. A. Análise de resultados da pegada hídrica por países e produtos específicos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Cascavel, v. 8, p. 1562-1562, 2012. <http://dx.doi.org/10.5902/223611706721>
- GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2019.
- GOLDEMBERG, J. Energia e Sustentabilidade. **Revista de Cultura e Extensão USP**, São Paulo, n. 14, p. 33-43, Nov. 2015. <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2316-9060.v14i0p33-43>
- GUTHRIE, P. **Global Water Security** - An engineering perspective. London: The Royal Academy of Engineering, 2010. Disponível em: <https://www.raeng.org.uk/gws>. Acesso em: 20 mai. 2022.
- HOEKSTRA, A. Y. *et al.* **Manual de avaliação da pegada hídrica**: estabelecendo o padrão global. Water Footprint Network. 2011. Disponível em: <https://waterfootprint.org/media/downloads/ManualDeAvaliacaoDaPegadaHidrica.pdf>. Acesso em: 31 mai. 2022.
- JUNQUEIRA, L. P.; PINHEIRO, F. P.; MAIOR, J. C. S. Sustentabilidade: A produção científica brasileira entre os anos de 2000 e 2009. **Revista Científica Hermes**, Osasco, v. 6, p.43-65, Jan./Jun. 2012. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v5i3.375>

MARACAJÁ, K. F. B. *et al.* Pegada hídrica como Indicador de Sustentabilidade Ambiental. **REUNIR – Revista de Administração, Contabilidade e Sustentabilidade**, Campina Grande, v. 2, n. 2, p. 113-125, 2012. <https://doi.org/10.18696/reunir.v2i2.75>

MARACAJÁ, K. F. B.; ARAUJO, L. E.; SILVA, V. P. R. Regionalização da Pegada hídrica do Estado da Paraíba. **REUNIR – Revista de Administração, Contabilidade e Sustentabilidade**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 105-122, 2014. <https://doi.org/10.18696/reunir.v4i1.206>

MARACAJÁ, K. F. B. **Nacionalização dos Recursos Hídricos**: um estudo exploratório da pegada hídrica no Brasil. **Qualitas Revista Eletrônica**, Campina Grande, v. 20, n. 3, p.39-54, set/dez, 2019. <http://dx.doi.org/10.18391/req.v20i3.5385>

MARTINS, R. S. L. **Empresas e gestão da água**: uma abordagem a partir do uso do indicador pegada hídrica. 178 f. Tese (Doutorado em Ciência Ambiental). Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

MONTOYA, M. A. A pegada hídrica da economia brasileira e a balança comercial da água virtual: Uma análise insumo-produto. **Economia Aplicada**, Ribeirão Preto, v. 24, n. 2, p. 215-248, 2020. <https://doi.org/10.11606/1980-5330/ea167721>

NASCIMENTO, N. V. D. *et al.* O uso das pegadas hídricas na agricultura do Brasil. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 1, 2021. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i1.12055>

NISTA, N. A. *et al.* Sociedade e desenvolvimento sustentável: O direito dos animais no discurso da sustentabilidade. **Ambiente e Sociedade**, Campinas, v. 23, p. 1-18, 2020. <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20180278r2vu2020L4AO>

OLIVEIRA, M. J. M. **Degradação ambiental, sucessão ecológica e sistemas de uso da terra no semiárido brasileiro**: enfoques ao município de independência, estado do Ceará. 136 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2017.

OTERO, P. B. G.; NEIMAN, Z. Avanços e desafios da Educação Ambiental brasileira entre a Rio 92 e a Rio+20. **Revista Brasileira De Educação Ambiental (RevBEA)**, São Paulo, v. 10, n. 1, p. 20–41, 2015. <https://doi.org/10.34024/revbea.2015.v10.1842>.

RATTNER, H. Sustentabilidade – Uma visão humanista. **Ambiente & Sociedade**, Campinas, n. 5, p. 233-240, Dez. 1999. <https://doi.org/10.1590/S1414-753X1999000200020>.

RIBEIRO, C. S. **Pegada hídrica e água virtual**: estudo de caso da manga no submédio do vale do São Francisco, Brasil. 79 f. Dissertação (Mestrado em Economia). Programa de Pós-Graduação em Economia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.

SEIXAS, V. S. C. **Análise da pegada hídrica de um conjunto de produtos agrícolas**. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente, perfil de Gestão e Sistemas Ambientais). Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2011.

TNC - THE NATURE CONSERVANCY. **Relatório de atividades**. 2011. Disponível em: <https://www.tnc.org.br/content/dam/tnc/nature/en/documents/brasil/relatorio-2011.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2022.

VELLANI, C. L.; RIBEIRO, M. D. S. Sustentabilidade e Contabilidade. **Revista Contemporânea de Contabilidade**, Florianópolis, v. 1, n. 11, p. 187-206, Jan./Jun. 2009. <https://doi.org/10.5007/2175-8069.2009v6n11p187>

ZHANG, Y. *et al.* Mapping of water footprint research: A bibliometric analysis during 2006-2015. **Journal of Cleaner Production**, v. 149, p. 70-79, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.067>