



*UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE*  
*CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS*  
*PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E GESTÃO*  
*DE RECURSOS NATURAIS*

---



**SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL DA PEGADA HÍDRICA NO  
BENEFICIAMENTO DO JEANS EM INDÚSTRIAS TÊXTEIS**

**CLARISSA MARIA RAMALHO DE SÁ ROCHA**

**CAMPINA GRANDE**

**2020**

**CLARISSA MARIA RAMALHO DE SÁ ROCHA**

**SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL DA PEGADA HÍDRICA NO  
BENEFICIAMENTO DO JEANS EM INDÚSTRIAS TÊXTEIS**

**Orientadores: Dr. VICENTE DE PAULO RODRIGUES DA SILVA**

**Dra. PATRÍCIA FERREIRA DA SILVA**

Tese apresentada ao programa de Pós-Graduação  
Engenharia e Gestão de Recursos Naturais da  
Universidade Federal de Campina Grande  
(UFCG), para obtenção do título de Doutora.

**CAMPINA GRANDE-PB**

**2020**

R672s      Rocha, Clarissa Maria Ramalho de Sá.  
Sustentabilidade ambiental da pegada hídrica no beneficiamento do jeans em indústrias têxteis / Clarissa Maria Ramalho de Sá Rocha. - Campina Grande, 2020.  
98f.: il. Color.

Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2020.  
"Orientação: Prof. Dr. Vicente de Paulo Rodrigues da Silva e Profa. Dra. Patrícia Ferreira da Silva".  
Referências.

1. Recursos Hídricos. 2. Emissão de Águas Residuais. 3. Substâncias Químicas. I. Silva, Vicente de Paulo Rodrigues da. II. Silva, Patrícia Ferreira. III. Título.

CDU 556.18(043)

**SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL DA PEGADA HÍDRICA NO  
BENEFICIAMENTO DO JEANS DAS INDÚSTRIAS TÊXTEIS DE  
PERNAMBUCO**

**CLARISSA MARIA RAMALHO DE SÁ ROCHA**

**BANCA EXAMINADORA**

---



Vicente de Paulo Rodrigues da Silva

Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

---

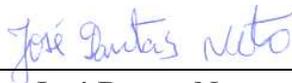


Patrícia Ferreira da Silva

Patrícia Ferreira da Silva

Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

---



José Dantas Neto

José Dantas Neto

Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

---



Madson Tavares Silva

Madson Tavares Silva

Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

---

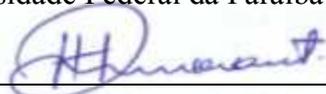


Lincoln Eloi de Araújo

Lincoln Eloi de Araújo

Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

---



Romildo Morant de Holanda

Romildo Morant de Holanda

Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

**Aprovada em: 28/08/2020**

**CAMPINA GRANDE-PB**

**2020**

A minha amada filha Ana  
Cecília de Sá Rocha Campos,  
DEDICO.

A meu amado esposo João Hugo  
Baracuy da Cunha Campos,  
OFEREÇO.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por me guiar e demonstrar seu infinito amor e cuidado nas grandes e pequenas coisas da minha vida;

Aos meu pais, Jozimar e Socorro, toda a minha gratidão pelo amor, dedicação e amizade;

A minha filha Ana Cecília e meu esposo João Hugo, pelo amor que sinto por vocês ser a minha maior força propulsora;

A minha irmã Tainá e meu irmão Emmanuel, pela irmandade, apoio e presença em todos os momentos;

Ao meu orientador, Dr. Vicente de Paulo Rodrigues da Silva, pela compreensão, ajuda e disponibilidade sempre;

A minha orientadora, Dra. Patrícia Ferreira da Silva, por todo suporte e empenho de sempre;

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da UFCG, pelos conhecimentos transmitidos;

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PH	Pegada Hídrica
PHverde	Pegada Hídrica Verde
PHazul	Pegada Hídrica Azul
PHcinza	Pegada Hídrica Cinza
PHtotal	Pegada Hídrica Total
ET <sub>o</sub>	Evapotranspiração de referência
ET <sub>c</sub>	Evapotranspiração da cultura
NHC	Necessidade Hídrica da Cultura
Pe <sub>ef</sub>	Precipitação efetiva
$\alpha$	Fração de lixiviação
TAQ	Taxa de aplicação de químicos po
C <sub>máx</sub>	Concentração máxima aceitável para o poluente considerado
C <sub>nat</sub>	Concentração natural do corpo receptor de água

## SUMÁRIO

SUMÁRIO DE TABELAS.....	i
SUMÁRIO DE FIGURAS .....	ii
RESUMO.....	iii
ABSTRACT .....	iv
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>16</b>
2.1. <i>Objetivo Geral</i> .....	16
2.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	16
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>17</b>
3.1. <i>A Pegada Hídrica</i> .....	17
3.2. <i>Tipos de pegada hídrica</i> .....	19
3.3. <i>Sustentabilidade da Pegada Hídrica</i> .....	21
3.4. <i>Pegada hídrica de uma empresa</i> .....	22
3.5. <i>Sustentabilidade da Pegada Hídrica de Empresas</i> .....	24
3.6. <i>As lavanderias industriais no polo de confecção de Pernambuco</i> .....	25
3.7. <i>Processos de lavagem do jeans</i> .....	27
3.8. <i>A disponibilidade hídrica no semiárido nordestino e as lavanderias do polo de confecção pernambucano</i> .....	29
3.9. <i>A poluição da água pelo polo de confecção de Pernambuco</i> .....	30
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>33</b>
4.1. <i>Área de Estudo</i> .....	33
4.2. <i>Levantamento de dados</i> .....	34
4.3. <i>Quantidade de peças produzidas, consumo de água bruta, percentual de água reutilizada e volume de água depositado nos rios</i> .....	36
4.4. <i>Principais poluentes utilizados</i> .....	36
4.5. <i>Pegada hídrica cinza</i> .....	37
4.6. <i>Pegada hídrica cinza do processo de beneficiamento de jeans</i> .....	41

4.7. <i>Sustentabilidade da PHC da indústria têxtil</i> .....	42
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	44
5.1. <i>Quantificação do consumo de água bruta, número de peças produzidas e percentual de água reutilizada nas lavanderias</i> .....	44
5.2. <i>Principais produtos químicos utilizados no beneficiamento do jeans</i> .....	51
5.3. <i>Pegada Hídrica cinza do beneficiamento do jeans</i> .....	53
5.4. <i>Pegada Hídrica cinza do Processo Industrial</i> .....	69
5.5. <i>Sustentabilidade da PHC da indústria têxtil</i> .....	71
6. CONCLUSÕES .....	80
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	82

**SUMÁRIO DE TABELAS**

Tabela 1- Identificação das Lavanderias/indústrias têxteis nas três cidades estudadas.	34
Tabela 2 - Classificação quanto ao porte das indústrias/lavanderias com base no número de peças produzidas por dia.....	36
Tabela 3- Principais produtos químicos empregados nas diversas etapas de beneficiamento do jeans. ....	37
Tabela 4 - Fatores que influenciam o potencial de lixiviação ou escoamento ( $\alpha$ ). Adaptado de Franke et al. (2013).....	39
Tabela 5 - Potenciais de lixiviação-escoamento em relação aos fatores químicos e fatores ambientais. Adaptado de Franke et al. (2013). ....	40
Tabela 6 - Classificação das lavanderias quanto ao porte e valores observados para o consumo de água bruta (CAB) em ( $m^3mês^{-1}$ ), número de peças lavadas (NPL, mês), percentual de água reutilizada (% água reutilizada), percentagem de efluente depositado no rio (%efluente) e volume de efluente lançado no rio (VELR) em ( $m^3mês^{-1}$ ). Elaborada pela autora (2019).....	44
Tabela 7 - Consumo cloro (CC), de permanganato de potássio (CPP), de metabissulfito de sódio (CMS), de amaciante (CA) e de metassilicato (CM) em ( $kg\ mês^{-1}$ ) para as lavanderias analisadas de acordo com o porte. Elaborada pela autora (2019). ....	52
Tabela 8 - Fração de lixiviação-escoamento de cada produto químico ( $\alpha$ ), número de aplicações de produtos ao ano (NA), Concentração máxima admissível do poluente no meio aquático receptor ( $C_{max}$ ) e Concentração natural do poluente considerado no meio aquático receptor ( $C_{nat}$ ) e Concentração do Produto (CP) em cada etapa de beneficiamento do jeans nas indústrias têxteis estudadas. Elaborada pela autora (2019).54	
Tabela 9 - Pegada hídrica Cinza das etapas de beneficiamento de jeans de lavanderias de pequeno porte dos municípios de Santa Cruz do Capiberibe, Caruaru e Toritama agreste pernambucano. Elaborado pela autora (2019). ....	58
Tabela 10 - Pegada hídrica Cinza das etapas de beneficiamento de jeans de lavanderias de médio porte dos municípios de Santa Cruz do Capiberibe, Caruaru e Toritama agreste pernambucano. Elaborada pela autora (2019). ....	62
Tabela 11 - Sustentabilidade da pegada hídrica cinza com base nos níveis de poluição da água das indústrias/lavanderias têxteis das bacias dos rios Capibaribe e Ipojuca no agreste pernambucano. Elaborado pela autora (2019).....	72

## SUMÁRIO DE FIGURAS

Figura 1- Mapa do Brasil com destaque para as cidades do Polo de Confecções do Agreste pernambucano.....	33
Figura 2 - O processamento de uma indústria/ lavanderia e seus respectivos impactos. Adaptado de Silva Filho, (2013, p. 90).....	35
Figura 3 - Área destinado ao tratamento da água para reuso das lavanderias de pequeno (A) e médio porte (B). Retirada pela autora (2018). ....	49
Figura 4- Maquinam utilizadas para fazer a lavagem (A) e centrifugação (B) dos jeans nas industriais/lavanderias têxteis. Retirada pela autora (2018).....	50
Figura 5 - Total da pegada hídrica cinza de indústrias/lavanderias têxteis de beneficiamento de jeans por produto químico e fase de beneficiamento (A), por município estudado (B) e por porte (C) no agreste Pernambucano. Elaborada pela autora (2019). 66	
Figura 6 - Trechos do rio Ipojuca na Cidade de Caruaru (A) e rio Capibaribe em Toritama (B). Fonte: Chagas (2009); Oliveira (2007). ....	77

## RESUMO

A pegada hídrica cinza é fundamental para determinar a sustentabilidade dos diferentes segmentos sejam eles, agrícolas ou mesmo industriais. As indústrias têxteis possuem diversas etapas que se utilizam dos recursos naturais, nesse sentido, a pegada hídrica cinza se constitui uma ferramenta para analisar a sustentabilidade ambiental da atividade. A avaliação sistemática da pegada hídrica cinza na indústria têxtil do Brasil combinada com políticas de gestão de recursos hídricos e tecnologias, são ferramentas importantes que devem ser adotadas no controle de poluição de reservatórios de águas utilizadas para o consumo humano e animal. Assim, objetivou-se com o presente estudo avaliar a sustentabilidade da pegada hídrica cinza no processo de beneficiamento do jeans em indústrias têxteis no estado de Pernambuco. O trabalho foi conduzido junto às indústrias/lavanderias têxteis localizadas nas cidades de Toritama, Santa Cruz do Capibaribe e Caruaru, Estado Pernambuco através de levantamento de dados obtidos por meio da aplicação de questionários e material disponibilizado pelas empresas visitadas. As informações coletadas possibilitaram analisar o consumo de água bruta, produtos químicos, reuso, etapas de beneficiamento e determinar as pegadas hídricas cinzas das etapas, dos produtos químicos e do processo de beneficiamento nos Polos de Confecções de Toritama, Santa Cruz do Capibaribe e Caruaru, proveniente da atividade das lavanderias industriais. Os resultados obtidos neste estudo permitem concluir que o consumo de água bruta, de produto químico, o reuso e a produção de jeans eleva-se, à medida que as empresas crescem com relação ao porte. As fases de maior pegada hídrica cinza de jeans beneficiado foram a descoloração/Used e tingimento, com valor de 1.118.941,47 m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup> e 763.140,00 m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>. Os produtos químicos com pegada hídrica cinza mais elevada são o permanganato de potássio (KMnO<sub>4</sub>) e o hipoclorito de sódio (NaClO) com 7,49 e 4,56 m<sup>3</sup> kg<sup>-1</sup> de jeans beneficiado. A pegada hídrica cinza anual das indústrias/ lavanderias têxteis estudadas foi de 2.500.104,87 (m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>). As indústrias/lavanderias têxteis produzem 6.010.560,00 peças ano<sup>-1</sup> e uma pegada hídrica cinza proporcional com base no número de peças produzidas de 22.479.494,4 m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>. A pegada hídrica cinza média é de 5,25 m<sup>3</sup> kg<sup>-1</sup> de jeans beneficiado no agreste de Pernambuco. São necessários 6,25 rios Capibaribe ou 126,63 rios Ipojuca com maior pico de vazão durante o ano para diluir uma pegada hídrica cinza do processo industrial de 8.375.413,13 m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>. O processo industrial das indústrias/lavanderias têxteis com base no nível de poluição da água teve pegada hídrica cinza classificada como sustentável para o rio Capibaribe e insustentável para o rio Ipojuca no momento de maior vazão. A depender da vazão da bacia o nível de poluição da água pode ser sustentável ou insustentável. As indústrias/lavanderias de pequeno porte consomem menos água bruta e produzem menos peças por mês. Empresas de grande porte utilizam mais água e reutilizam mais. As indústrias/lavanderias têxteis são grandes agentes poluidoras, uma vez que usam elevados volumes de água e produtos químicos, necessitando de normas mais rígidas quanto a emissão e despejos de seus resíduos. Para que as indústrias/lavanderias têxteis da região agreste de Pernambuco possuam uma pegada hídrica cinza sustentável, faz-se necessário a substituição dos produtos químicos utilizados que obtiveram maiores PHC, assim como reutilizar um maior volume de água em seus processos e buscar matéria prima sustentável como o algodão orgânico. Como também os rios que se encontram poluídos devem passar por processos visando despoluição de suas águas. O Agreste de Pernambuco necessita adotar em suas indústrias/lavanderias a utilização de produtos menos poluentes, buscar por incluir o algodão ecológico, utilização de ozônio/ plasma e oxigênio no processo de beneficiamento.

**Palavras-Chave:** Recursos hídricos, emissão de águas residuais, substâncias químicas

## ABSTRACT

The gray water footprint is essential to determine the sustainability of the different segments, whether they are agricultural or even industrial. The textile industries have several stages that use natural resources, in this sense, the gray water footprint is a tool to analyze the environmental sustainability of the activity. The systematic assessment of the gray water footprint in the Brazilian textile industry, combined with water resource management policies and technologies, are important tools that must be adopted in the control of pollution of water reservoirs used for human and animal consumption. Thus, the aim of this study was to assess the sustainability of the gray water footprint of the process of processing jeans in textile industries in the state of Pernambuco. The work was carried out with the textile industries / laundries located in the cities of Toritama, Santa Cruz do Capibaribe and Caruaru, in the State of Pernambuco, by collecting data obtained through the application of questionnaires and material provided by the companies visited. The information collected made it possible to analyze the consumption of raw water, chemicals, reuse, beneficiation steps and to determine the gray water footprints of the steps, the chemical products and the beneficiation process at the Confection Centers of Toritama, Santa Cruz do Capibaribe and Caruaru, from the activity of industrial laundries. The results obtained in this study allow us to conclude that the consumption of raw water, chemical product, the reuse and the production of jeans increases, as companies grow in relation to size. The phases with the largest gray water footprint of processed jeans were discoloration / Used and dyeing, with a value of 1,118,941, 47 m<sup>3</sup> year<sup>-1</sup> and 763,140.00 m<sup>3</sup> year<sup>-1</sup>. The chemicals with the highest gray water footprint are potassium permanganate (KMnO<sub>4</sub>) with 7.49 m<sup>3</sup> kg<sup>-1</sup> of processed jeans and sodium hypochlorite (NaClO) with 4.56 m<sup>3</sup> kg<sup>-1</sup> of processed jeans. The annual gray water footprint of the textile industries / laundries studied was 2,500,104.87 (m<sup>3</sup>year<sup>-1</sup>). The textile industries / laundries studied produce 6,010,560.00 pieces year<sup>-1</sup> and a proportional gray water footprint based on the number of pieces produced of 22,479,494.4 m<sup>3</sup> year<sup>-1</sup>. The average gray water footprint is 5.25m<sup>3</sup>kg<sup>-1</sup> of jeans processed in the countryside of Pernambuco. It would take 6.25 Capibaribe rivers or 126.63 Ipojuca rivers with the highest peak flow during the year to dilute a gray water footprint of the water process of 8,375,413.13 m<sup>3</sup> year<sup>-1</sup>. The industrial process of textile industries / laundries based on the level of water pollution had a gray water footprint classified as sustainable for the Capibaribe River and unsustainable for the Ipojuca River at the time of greatest flow. Depending on the flow of the basin, the level of water pollution may be sustainable or unsustainable. Small industries/laundries consume less raw water and produce less parts per month. Large companies use more water and reuse more. Textile industries/laundries are major polluting agents, since they use high volumes of water and chemicals, requiring stricter standards regarding the emission and dumping of their waste. In order for the textile industries / laundries in the harsh region of Pernambuco to have a sustainable gray water footprint, it is necessary to replace the chemicals used that obtained the highest PHC, as well as to reuse a greater volume of water in their processes and seek sustainable raw material. like organic cotton. Likewise, rivers that are polluted must undergo processes aiming at the pollution of their waters. Agreste de Pernambuco needs to adopt in its industries / laundries the use of less polluting products, seeking to include ecological cotton, the use of ozone / plasma and oxygen in the beneficiation process.

**Keywords:** Water resources, wastewater emissions, chemical substances

## 1. INTRODUÇÃO

As atividades antrópicas consomem e poluem uma grande quantidade de água. Em uma escala global, a maior parte do uso da água ocorre na produção agrícola, mas há também volumes substanciais de água consumida e poluída pelos setores industriais e domésticos (WWAP, 2009).

A PH é um indicador multidimensional que considera em seu cálculo não só o volume de água consumido a partir de diversas fontes, como a água superficial e subterrânea e, a água da chuva armazenada no solo, mas também a quantidade de água poluída durante o processo produtivo em um determinado local e período (Sousa Júnior & Vieira, 2012). No caso particular da pegada hídrica cinza (PHC), segundo (Hoekstra et al., 2011), diz respeito à poluição hídrica e é definida como o volume de água doce necessário para assimilar a carga de poluentes, consideradas as concentrações naturais de referência e os padrões de qualidade de água existentes.

Nesse contexto, a PHC é um indicador de poluição da água que pode ser associado com a produção de um produto. Refere-se ao volume de água requerido para que a poluição de um processo possa ser assimilada pelo corpo de água de acordo com o limite máximo estabelecido por legislação ou em relação à qualidade natural do corpo hídrico em questão (Hoekstra, 2008).

Inúmeros estudos têm abordado a temática da pegada hídrica em seus diferentes níveis do conhecimento, tanto na verificação de aspectos voltados à qualidade deste recurso; na sua importância para a preservação da sustentabilidade dos ecossistemas; quanto na apropriação da água. Quando se insere os usos da água a partir de atividades antrópicas, através do uso direto deste recurso ou via consumo de produtos e serviços oferecidos na economia, é importante destacar que a PHC da indústria têxtil é evidenciada. Mesmo diante a relevância do tema, são poucos os estudos na literatura a nível mundial, sobre a pegada hídrica cinza das indústrias têxteis.

Diante dessa realidade, a indústria têxtil é um dos setores que utiliza o recurso natural água em grande quantidade, em específico o segmento das lavanderias industriais. O polo têxtil localizado na região semiárida de Pernambuco, denominada de Arranjo Produtivo Local de Confecções do Agreste de Pernambuco (APLCAPE), tendo as cidades de Toritama, Caruaru e Santa Cruz do Capibaribe como responsável por 16% da produção e da lavagem de jeans do Brasil, fazendo com que a região tenha significância econômica

regional e nacionalmente, destacando-a como capital do jeans (Matos, Bastos & Machado, 2014).

De acordo com a Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos - CPRH (2009), na cadeia produtiva local de Pernambuco, as lavanderias apresentam importância por fazerem as lavagens de toda a produção de peça de jeans, surgindo pela necessidade de suporte às empresas de confecção e contribuindo para o crescimento econômico dos municípios. Porém, apesar do seu potencial econômico essa atividade tem contribuído de forma expressiva para a poluição dos recursos hídricos da região que já são escassos. A atividade de lavagem do jeans utiliza grande quantidade de água no processo que, conseqüentemente, gera um alto volume de efluentes com algum tipo de contaminantes devido ao uso de substâncias químicas.

Mediante o presente cenário de preocupação com o meio ambiente, o aproveitamento da água na indústria têxtil não é amplamente difundido, porém é uma necessidade crescente devido à precificação cada vez maior da água de boa qualidade. Isso leva o setor a buscar tecnologias para o reuso, seja, ele direto ou indireto, e quando direto apenas para uma parte dos processos (Vajnhandl & Valh, 2014). Portanto, a importância e o interesse no estudo da pegada hídrica cinza, vem aumentando o reconhecimento que os impactos nos sistemas de água doce estão relacionados com as atividades antrópicas. Na perspectiva de Silva et al. (2013) a sustentabilidade de uma PHC é dependente de fatores locais, como as características hídricas da região, solo e, temperatura. Assim, tem-se que uma pegada hídrica cinza de maior dimensão se torna sustentável em áreas em que a água é abundante, enquanto uma PHC pequena pode ser considerada insustentável se for o caso de uma zona de escassez de água.

A disponibilidade de água no semiárido pernambucano evidencia a relevância do estudo, pois torna relevante a determinação da PHC, diante do cenário de escassez hídrica. As lavanderias se constituem em uma atividade que utiliza grande quantidade de água no processo de lavagem que, conseqüentemente, gera um alto volume de efluentes, devido ao uso de substâncias químicas, que são depositados nos corpos hídricos da região estudada. Deve-se, portanto, levar em consideração a poluição causada pelos efluentes da indústria têxtil e a conseqüente pegada hídrica cinza produzida do polo têxtil pernambucano. Nesse sentido, o presente trabalho tem como hipótese que devido a grande quantidade de resíduo lançado nos corpos hídricos, o beneficiamento do jeans é ambientalmente insustentável nos moldes atuais no estado de Pernambuco.

## 2. OBJETIVOS

### *2.1. Objetivo Geral*

Avaliar a sustentabilidade da pegada hídrica cinza no processo de beneficiamento do jeans em indústrias têxteis no estado de Pernambuco.

### *2.2. Objetivos específicos*

- (i) Quantificar o consumo de água bruta, percentual de água reutilizada e volume de água depositado nos rios;
- (ii) Calcular a pegada hídrica cinza do jeans beneficiadas por pequena, média e grande indústrias/lavanderias têxteis;
- (iii) Calcular a pegada hídrica cinza dos principais produtos químicos utilizados na lavagem do jeans que agridem o meio ambiente;
- (iv) Determinar dentro dos processos de beneficiamento industrial o que apresenta o maior grau de pegada hídrica cinza;
- (v) Classificar a sustentabilidade da pegada hídrica cinza com base nos níveis de poluição da água (NPA) dos rios Ipojuca e Capibaribe;
- (vi) Propor alternativas e medidas que possam reduzir a pegada hídrica cinza na região de estudo.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### *3.1.A Pegada Hídrica*

Verifica-se com o passar dos anos, um aumento do número de regiões que sofrem de carência crônica de água. Diante desse fato diversos setores em todo o mundo estão cada vez mais exigentes e conscientes com o uso dos recursos do meio ambiente, em específico quanto ao uso da água. Governos, empresas e comunidades locais enfrentam cada vez mais desafios, relacionados com a escassez de água, que põem em causa a sua sustentabilidade. Em todos os continentes, há um aumento constante da pressão sobre os recursos hídricos, devido essencialmente ao uso de água para agricultura, e, à crescente urbanização e industrialização.

À escassez de água tem como causa primária a distribuição e o uso irregular desse recurso. Para evitar a escassez dos recursos naturais, muitas empresas estão adotando uma postura sustentável; ou por iniciativa própria; ou por exigência governamental; ou até mesmo em busca de linhas de crédito. Independente de qual seja o motivo, essas práticas sustentáveis devem ser evidenciadas nas empresas (Donaire, 2011).

Além do consumo de água, outros fatores levam a uma situação de carência, como o aumento da poluição que também diminui a disponibilidade de água potável. Quanto maior for a poluição dos recursos hídricos, menor será a quantidade de água potável disponível e mais rigorosa serão os tratamentos necessários para manter a sua qualidade, implicando maiores custos para a sua utilização.

As atividades antrópicas consomem e poluem uma grande quantidade de água. Em uma escala global, a maior parte do uso da água ocorre na produção agrícola, mas há também volumes substanciais de água consumida e poluída pelos setores industriais e domésticos (WWAP, 2009). De acordo com Drastig et al. (2010), durante os últimos 20 anos, os pesquisadores desenvolveram métricas para ajudar a caracterizar, mapear e acompanhar as questões ambientais no planeta. Os estudos têm destacado a incompatibilidade entre a disponibilidade hídrica e a demanda de água.

Para melhor entender a relação entre as atividades de produção de bens e serviços para as sociedades e a crescente pressão sobre a água, tem se tornado mais comum a utilização de indicadores de consumo de água que proporcione informações que permitam compreender a ligação entre os dois assuntos. O desenvolvimento de indicadores e

práticas que levam ao uso eficiente da água são cada vez mais discutido nos espaços de negociação nacionais e internacionais

Diante desse contexto, tem sido proposta uma nova visão para o gerenciamento dos recursos hídricos. Essa nova visão se preocupa não só com a alocação de água para a manutenção das atividades humanas e ambientais, mas também com a origem da água alocada, com a quantidade disponível para as culturas e os ecossistemas e a quantidade necessária para diluir a poluição causada por essas atividades (Zaffani et al., 2011).

Uma dessas propostas é a avaliação da Pegada Hídrica (PH), método desenvolvido por Arjen Hoekstra, da Universidade de Twente, Holanda (Hoekstra, 2009; 2015) e difundido por meio da rede Water Footprint Network (WFN) que pretende contribuir com o aumento da eficiência, sustentabilidade e equidade no uso da água para a produção de bens e serviços oferecidos para as pessoas (Hoekstra et al., 2011).

A pegada hídrica (PH) é um indicador de consumo de água doce que contabiliza não somente o uso direto de água de um consumidor, produto, ou processo, mas também o uso indireto de água. É considerada um indicador global da apropriação dos recursos da água doce, ao lado do tradicional e limitado conceito de uso de água. A pegada hídrica é um indicador multidimensional, demonstrando o volume de água consumida pela fonte e o volume poluído pelo tipo de poluição (Hoekstra et al., 2011).

A relevância e o interesse do estudo da pegada hídrica têm vindo a aumentar devido ao reconhecimento que os impactos nos sistemas de água doce estão relacionados com o consumo humano. Este conceito é visto como forma de compreensão e resolução dos problemas de escassez e poluição da água, com base no estudo das cadeias de produção e de abastecimento como um todo.

No Brasil, a pegada hídrica começou a ser discutida por gestores de água a partir de uma reunião proposta em conjunto pela The Nature Conservancy (TNC) e WWF, no âmbito da iniciativa Alliance for Water Stewardship (AWS). A partir disso, organizações internacionais sediadas no Brasil foram os atores que iniciaram a popularização ou disseminação da temática da pegada hídrica no país (Empinotti, 2012).

A PH de um produto diz respeito ao volume de água utilizado para produzir esse mesmo produto (Bulsink et al., 2010), medido ao longo de toda a cadeia produtiva (Hoekstra & Mekonnen, 2011). Todas as componentes de uma PH são específicas, quer geograficamente, quer temporalmente (Berger & Finkbeiner, 2010).

A pegada Hídrica é geograficamente discriminada; ou seja, os resultados mostram a situação específica do local onde ocorre o uso da água e dependem exclusivamente de suas características (Gerbens-Leenes et al., 2012; Hoekstra et al., 2011).

A nível mundial a PH varia de local para local. Verifica-se que a China, a Índia e os EUA são os países com maiores totais de PH, (1207,1182 e 1053 Gm<sup>3</sup>ano<sup>-1</sup> respetivamente), o que faz com que estes três países representem cerca de 38% da PH mundial. Seguidamente aparece o Brasil, com cerca de 482 Gm<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup> (Hoekstra & Mekonnen, 2012).

Nos países desenvolvidos, normalmente, ocorre maior consumo de bens e serviços, o que faz aumentar a PH. No que diz respeito aos países subdesenvolvidos, pensa-se que estes têm uma PH menos elevada, contudo isso não se verifica, pois, aliada às condições climáticas desfavoráveis (baixa precipitação e elevada evapotranspiração), ocorre uma evaporação elevada, além das indesejáveis práticas agrícolas (Giacomin & Ohnuma, 2012).

A pegada hídrica (PH) possui três componentes específicos: sendo eles a pegada hídrica verde, a azul e a cinza.

### ***3.2. Tipos de pegada hídrica***

Hodiernamente a pegada hídrica é considerada como um indicador multidimensional do uso de água, que apresenta o volume de água consumido por fonte e o volume poluído por tipo de poluição. Existem três componentes para a avaliação da pegada hídrica: a pegada hídrica azul, que se refere à utilização de água doce subterrânea ou superficial; a pegada hídrica verde, referente à precipitação armazenada no solo ou que permanece temporariamente na superfície do solo ou na vegetação, e; a pegada hídrica cinza, que é um indicador do grau de poluição da água. Todos os componentes de uma pegada hídrica são especificados geográfica e temporalmente.

Dessa forma, a água consumida é classificada em verde, azul e cinza em função de sua origem e impacto. Assim, a azul refere-se à água consumida que é captada dos corpos de água superficiais ou subterrâneos; a PH verde é definida como a quantidade de precipitação que é armazenada no solo e que é consumida pelas plantas; e a PH cinza, que por se tratar de um indicador de impactos sobre a qualidade da água, é definida como a quantidade de água necessária para diluir os poluentes presentes no efluente resultante do processo produtivo que se está avaliando (Hoekstra et al., 2011). Portanto, a Pegada

Hídrica total de um local, processo ou produto será a soma das PH azul, verde e cinza, dependendo do objetivo e escopo do projeto a ser desenvolvido.

A Pegada Hídrica azul é referente ao consumo de água azul (águas superficiais e subterrâneas) ao longo de uma cadeia de abastecimento. O consumo de água azul diz respeito às perdas de água subterrânea ou superficial disponível nas bacias hidrográficas, sendo que estas perdas ocorrem quando a água evapora, migra para outra bacia hidrográfica ou é incorporada num produto.

A PH azul é um indicador do consumo de água azul, ou seja, da água doce proveniente da superfície ou do subsolo (Ercin et al., 2011; Ercin & Hoekstra, 2014). O cálculo desta água deve ter em conta os seguintes componentes:

Água evaporada;

Água incorporada num produto;

Água que não volta à bacia de origem, mas volta a outra bacia ou ao mar;

A água que é retirada e repostada em diferentes períodos, por exemplo, é retirada num período de chuvas e é repostada num período de seca.

Em termos mundiais, verifica-se que a Índia é o país com a PH azul mais elevada, cerca de  $243 \text{ Gm}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ , representando 24% da PH azul total. Este valor resulta das atividades agrícolas que aquele país tem, sendo a rega de trigo a maior parte da quantidade de PH azul total do país (33%), seguindo-se a rega de arroz (24%) e a rega da cana (16%) (Hoekstra & Mekonnen, 2011).

A PH verde diz assim respeito ao volume de água proveniente das chuvas que é utilizado no processo produtivo. Esta é especialmente importante para a produção de produtos agrícolas, uma vez que contribui bastante, juntamente com a que é incorporada pelo Homem, para o desenvolvimento e sucesso da agricultura (Ercin et al., 2011; Bosire et al., 2015).

A Pegada Hídrica verde é referente ao consumo de água verde (água da chuva) ao longo de toda a cadeia de abastecimento. Ela é representada pelo volume de água proveniente de chuva consumida durante o processo de produção. O cálculo da PH verde é particularmente relevante para produtos baseados em culturas agrícolas devido à evapotranspiração (Hoekstra & Mekonnen, 2011).

A distinção entre a PH azul e verde é muito importante devido aos impactos hidrológicos, ambientais e sociais, assim como os custos e impactos do uso da água superficial e do subsolo. Essa definição difere dos custos e impactos do uso de água de chuva (Hoekstra et al., 2011).

A pegada hídrica cinza está relacionada à poluição e define-se como o volume de água necessário para incorporar uma carga de poluentes, tendo em conta a sua concentração na natureza e os parâmetros de qualidade ambientais.

A pegada hídrica cinza é um indicador do grau de poluição da água de uma etapa do processo. Define-se como o volume de água necessário para assimilar a carga de poluentes gerados, com base nas concentrações em condições naturais e nos padrões ambientais existentes. Ou seja, este conceito pode ser usado não só como forma de traduzir a poluição gerada em termos de volume de água, sendo que este volume corresponde ao volume necessário para diluir os poluentes até que estes se tornem inofensivos, mas também como indicador da severidade da poluição da água.

Chapagain et al. (2006) propuseram que o fator de diluição seja de acordo com o tipo de poluente e que se deve utilizar o padrão de qualidade da água em seu estado natural para um determinado poluente como critério para quantificar a necessidade de diluição.

### ***3.3.Sustentabilidade da Pegada Hídrica***

Durante o processo de desenvolvimento deste conceito, o objeto de estudo estava consideravelmente voltado para o cálculo. Antes, o uso da água não era calculado no decorrer das cadeias produtivas, nem sequer existiam os conceitos de PH verde e cinza. Anteriormente a isto, apenas se considerava as captações de água azul, estando-se a ignorar o principal fator que determina o impacto no sistema hídrico de uma bacia hidrográfica, o uso da água como um conjunto (Hoekstra, 2010). O pesquisador citado apresentou, pela primeira vez, uma explicação coerente sobre as necessidades de incluir a avaliação da sustentabilidade da pegada hídrica, após o cálculo da PH. A comparação desta com a disponibilidade real de água na Terra e a identificação das zonas críticas de falta de recursos foram estudadas pela primeira vez por Van Oel et al. (2008) e Chapagain et al (2006).

De modo geral, o objetivo de avaliar a sustentabilidade da pegada hídrica é analisar como as atividades humanas ou produtos e serviços específicos dizem respeito a questões de escassez da água e poluição, e entender como as atividades e os produtos podem se tornar mais sustentáveis a partir de uma perspectiva da água.

Hoekstra et al.(2009) no seu primeiro “Manual da Pegada Hídrica”, substituíram o termo “avaliação de impacto” por “avaliação de sustentabilidade”, mais propriamente

de dezembro de 2009 a julho de 2010, onde um grupo de trabalho da Rede da Pegada Hídrica reviu o manual e propôs algumas melhorias (Zarate, 2010), mais propriamente foram inseridas ideias como os limites da sustentabilidade ambiental (Richter, 2010) e o conceito de impactos primários e secundários.

Diante desse contexto, a avaliação de sustentabilidade da PH na opinião dos mesmos, apresenta uma maior e melhor abrangência. O termo impacto está muito relacionado para um impacto imediatamente visível, o que acaba por ser muito limitado, pois existem muito mais, e possivelmente mais severos, que não são tidos em conta. Como os recursos de água no mundo são limitados, é importante avaliar a sustentabilidade das Ppegadas hídricas em contexto macro. Com a promoção do uso eficiente da água em áreas hidricamente ricas para promover commodities que requerem um uso intensivo, reduz-se a necessidade de água para promover esses mesmos produtos onde existe escassez de água.

Basicamente, na avaliação da sustentabilidade da PHC é importante ter em conta as necessidades humanas, mas também os recursos disponíveis que a terra tem e pode suportar/despender. No entanto, quando se fala neste tema, constata-se que existem distintas dimensões (ambiental, social e econômica), que os impactos que provêm desta pegada podem ser diferentes (impactos primários e secundários) e que a PH tem várias cores (azul, verde e cinza) (Hoekstra & Wiedmann, 2014).

Nesse contexto, avaliar a sustentabilidade da pegada hídrica consiste em analisar como as atividades humanas ou produtos e serviços específicos dizem respeito a questões de escassez de água e poluição, e entender como as atividades e os produtos podem se tornar mais sustentáveis a partir de uma perspectiva da água.

### ***3.4. Pegada hídrica de uma empresa***

A PH de uma empresa, ou frequentemente usam-se termos como “pegada hídrica corporativa” ou “pegada hídrica organizacional” como sinónimos de “pegada hídrica de uma empresa”. É definida como o volume total de água doce utilizado, direta ou indiretamente, para o funcionamento e manutenção da empresa. Através do cálculo da pegada hídrica de uma empresa, que permite obter uma diferente perspectiva do uso de água nos processos, é possível desenvolver uma estratégia organizacional para o uso eficiente de água.

Esta, por sua vez, possui duas componentes, a denominada PH operacional (ou direta) e a PH da cadeia produtiva. A primeira, denominada pegada hídrica operacional (ou direta), pode ser definida como o volume de água doce consumido ou poluído devido às operações realizadas pela empresa e está diretamente relacionada a elaboração do produto. A PH da cadeia produtiva diz respeito ao volume de água doce consumida ou poluída que a empresa utiliza para produzir todos os seus bens e serviços (Hoekstra, 2008).

Após a distinção de PH operacional e PH produtiva, é possível distinguir a PH que está arrolada diretamente com os bens produzidos pela empresa, da PH dita “adicional. Esta última pode ser vista como o consumo de água necessário para o normal e contínuo funcionamento da empresa, mas que, no entanto, não está diretamente relacionada com o produto final em particular (Hoeksta et al., 2011).

Isto é, a pegada hídrica relacionada com as atividades gerais e com os bens e serviços gerais consumidos para manter a empresa em funcionamento. Segundo Hoekstra (2008) as empresas do setor industrial possuem tipicamente uma PH da cadeia de suprimentos maior que a PH operacional.

Entretanto, além da pegada hídrica operacional e da cadeia de abastecimento as empresas podem calcular a “pegada hídrica de uso final” do seu produto, com base no uso típico desse produto. Este conceito refere-se ao consumo e poluição de água quando o produto é utilizado pelo seu consumidor, logo não é considerado nem como parte da pegada hídrica do produto nem da empresa, no entanto é considerado como parte da pegada hídrica do consumidor.

Hoekstra et al. (2011) usam como exemplo a utilização de um sabonete. A PH do uso final do produto não está estritamente ligada à PH da empresa, mas sim à PH do consumidor, que corresponde ao volume total de água doce consumida e poluída na produção de bens e serviços por ele utilizados. No entanto, deve-se ter em consideração que os consumidores podem utilizar os produtos de várias formas, o que fará esse produto ter uma maior ou menor PH, dependendo da forma como é utilizado.

A PH de uma empresa é igual à soma das PH dos produtos da empresa, no entanto, calcular a PH de uma empresa ou calcular a PH dos principais produtos elaborados pela empresa tem focos distintos. No primeiro caso existe uma grande preocupação com a distinção de PH operacional e PH produtiva, pois isto é bastante relevante para a gestão das empresas, uma vez que o controle das duas é diferente. Enquanto na PH operacional a empresa tem um controle direto, na PH produtiva a influência é indireta. Ao calcular-

se a PH de um produto, não existe distinção entre PH direta e indireta, apenas são consideradas as PH dos processos que integram o conjunto de processos relevantes que fazem parte do sistema de produção da empresa (Hoekstra et al., 2011).

A pegada hídrica operacional de uma empresa é definida pela “soma das pegadas hídricas dos produtos da empresa” e a pegada hídrica da cadeia de abastecimento pela “soma das pegadas hídricas dos inputs da empresa”. É semelhante calcular a pegada hídrica de uma empresa ou calcular a pegada hídrica dos principais produtos elaborados pela empresa, no entanto a perspectiva é diferente (Hoekstra et al., 2011).

Para a empresa, é importante, a distinção entre a pegada hídrica operacional e a pegada hídrica da cadeia produtiva, uma vez que estes termos têm muita influência nas políticas ambientais e de gestão da empresa. Isto porque a empresa tem um controle direto sobre a sua pegada hídrica operacional, mas, tem apenas uma influência indireta sobre a pegada hídrica da sua cadeia produtiva.

Isto não é exequível com o uso do indicador de “captação de água nas operações”, adotado pela maioria das empresas, pois leva a uma preocupação exagerada com o consumo direto de água, enquanto que a análise integrada do consumo direto e indireto, geralmente, mostra que a pegada hídrica indireta é superior à pegada hídrica direta. Uma análise e definição detalhada do uso espacial e temporal da água pode servir para promover uma avaliação da sustentabilidade hídrica, identificando os impactos ambientais, sociais e económicos e para identificar possíveis riscos para o negócio (Hoekstra et al., 2011).

Existe também uma obrigação de cumprimento dos valores limite padrão de emissão de efluentes, que pode ser contornada pela diluição dos efluentes. Como a pegada hídrica cinza é calculada com base na carga total de contaminantes, a diluição dos efluentes não a reduz. Assim, o cálculo da pegada hídrica cinza permite obter informações mais precisas sobre a poluição gerada e a partir disso estudar o impacto no ambiente e na capacidade de assimilação do curso de água receptor.

### ***3.5. Sustentabilidade da Pegada Hídrica de Empresas***

O cálculo da pegada hídrica de uma empresa é igual à soma da pegada provocada pelos produtos produzidos pela mesma. Portanto, para a avaliação da sustentabilidade da pegada hídrica de uma empresa, primeiramente tem que existir uma avaliação da

sustentabilidade da pegada dos produtos (Aladaya et al., 2011). Para se ter um resultado efetivo em relação a pegada hídrica de uma empresa tem-se que analisar os resultados referentes à sustentabilidade das pegadas de cada produto, parte-se do princípio que a pegada hídrica da empresa é uma etapa secundária, tendo informação sobre a sustentabilidade do produto pode-se ter uma conclusão imediata sobre a sustentabilidade da pegada hídrica da empresa.

As ações relacionadas a uma empresa sustentável devem estar relacionadas a minimização dos desperdícios, racionalização do consumo de água, planos e projetos estruturados para atingirem metas da redução de consumos. Para que aconteça medidas mais efetivas em relação a racionalização dos consumos da água dentro da empresa e, conseqüentemente, uma redução da PH da mesma, não é necessário causar uma alteração da qualidade do produto ou uma alteração do conforto, mas sim, em relação aos seus processos de como utilizar e conduzir esse recurso.

### ***3.6. As lavanderias industriais no polo de confecção de Pernambuco***

A indústria têxtil é um dos mais importantes segmentos de transformação industrial no Brasil e em todo o mundo. O Polo de confecção do Estado de Pernambuco faz parte desse setor, sendo considerada uma atividade extremamente importante e conhecida no Estado.

As primeiras indústrias têxteis no Brasil surgiram nos Estados de Minas Gerais, no ano de 1816, Pernambuco em 1830, depois Bahia e Rio de Janeiro. Com acesso a matéria-prima (algodão) e mão de obra, houve crescimento dessas indústrias. Na região Nordeste, os estados de Pernambuco, Paraíba, Alagoas, Bahia e Maranhão, surgiram também as confecções e vestuários (ABNT, 2010).

Conforme Galiza Neto (2016), o surgimento da indústria no Nordeste teve como objetivo suprir a demanda por sacos para o setor agrícola e de vestuário. O processo de produção tinha características artesanais; o uso de tecnologia a vapor, seguido da mecanização, surgiu primeiro no Estado de São Paulo, vindo depois para os estados do Nordeste.

O polo de confecções de Pernambuco foi se desenvolvendo a partir de Santa Cruz do Capibaribe, onde os caminhoneiros que não conseguiam carga de retorno para o

interior de Pernambuco, retornavam de Recife e São Paulo com restos de tecidos provenientes das facções, assim nas décadas de 1950 e 1960 deram-se os primeiros passos para o desenvolvimento do polo têxtil (Brito, 2013).

No agreste de Pernambuco, as atividades de confecção começaram nos finais dos anos 40 como forma de subsistência e utilizando produtos populares de pedaços de tecidos de malhas (helanca) que vinha do sul do país, dando origem ao nome sulanca. Posteriormente foram surgindo outros tipos de tecidos, dentre eles o jeans que ficou mais evidente nos Municípios de Toritama e Caruaru.

O Brasil é o segundo maior mercado de jeans do mundo, perdendo apenas para os Estados Unidos. Nos anos 1970, com a customização do jeans pelos hippies, o mercado começou a exigir uma peça com diversidade de tipos, e para atender ao mercado consumidor o jeans passou a ser beneficiado através de processos de lavagem. E por volta de 1980, aconteceu a revolução nas lavanderias domésticas, deixando apenas de ter máquinas de lavagem e centrífugas, mas sim toda uma central de processamento do jeans, amaciando, tingindo e o modificando conforme o mercado exigia, surgindo assim às lavanderias têxteis de jeans (GBL JEANS, 2013).

Em Pernambuco, como os tecidos que eram trazidos para a região aos poucos este comércio foi desenvolvendo a região, o beneficiamento das roupas também foi desenvolvendo paulatinamente, inicialmente as roupas (jeans) eram levadas a capital, Recife, para o beneficiamento (amaciamento, diferencial) mais logo que a demanda aumentou iniciou-se a implantação de lavanderias industriais na região, em Toritama, surgiu na década de 1980 (Almeida, 2013).

A produção do jeans exige além de empresas de confecção dos produtos, as lavanderias para o beneficiamento das peças produzidas. Elas fazem lavagem, estonagem, amaciamento tingimento, branqueamento, acabamento e engomagem das peças e demais beneficiamento (CPRH, 2009).

Nesse processo de beneficiamento do jeans, cada peça consome em média 40 litros de água, são gerados cerca de 1.000.000 m<sup>3</sup>ano<sup>-1</sup> de efluente líquido e a maior parte dele é descartada diretamente na bacia do Rio Capibaribe, sem o devido tratamento (SEBRAE, 2000).

As lavanderias de jeans são consideradas como indústrias, pois transformam a peça, dando diversos acabamentos que passam por algumas etapas segundo Marx (2013, p. 02):

**Beneficiamento:** nesta etapa, as peças passam por um ou diferentes tipos de lavagens do jeans – algumas utilizam temperaturas altíssimas – e/ou outros tipos de acabamentos.

**Stone Wash:** este é o tipo mais comum de lavagem e consiste basicamente em jogar a peça em uma máquina de lavar junto com objetos (pedras) ou produtos químicos que promovam o amaciamento da peça, bem como um leve desbotamento.

**Délavé:** neste processo de beneficiamento da peça, é adicionado na lavagem da roupa um alvejante químico que a deixa mais clara e macia.

**Dirty Washed:** para atingir este efeito, o jeans recebe dois tipos diferentes de corantes ou pode ser tingido rapidamente durante a etapa de beneficiamento.

**Acid Washed:** esse é um dos tipos de lavagens do jeans que deixa a roupa com aspecto de manchada e pode ser alcançada com uma lavagem feita pela combinação de pedras polmes e cloro.

**Destroyed:** esse tipo de lavagem é bem parecido com a stone wash, porém, a quantidade de enzimas utilizadas nesse processo é maior e chega a corroer pontos do jeans.

**Resinado:** este tipo de acabamento dá ao tecido o efeito semelhante ao couro e é obtido por meio da aplicação de um spray resinado com corante ou brilho. Depois do tingimento, a peça passa por um aquecimento de até 160°C para que o tingimento faça a adesão ao tecido.

**Bigode:** feito manualmente simula o efeito do tempo sobre a peça nos locais que sofrem maior desgaste, como na altura dos quadris e dobras das articulações.

Entre as empresas de confecção e lavanderia há uma relação de interdependência, em que, as empresas necessitam de coloração e acabamento das peças de jeans confeccionadas e as lavanderias precisam das peças confeccionadas que são os elementos principais para seus processos de lavagem.

### ***3.7. Processos de lavagem do jeans***

O processo de lavagem tem com grande característica o uso de grande quantidade de água. Compõe-se de diversas etapas, cada uma com suas características específicas em uso de produtos químicos, temperaturas, tempo de duração e contato com a água. Cada

etapa tem efluentes com diferentes características de poluentes ao meio ambiente (Pedrosa, 2006).

Depois da escolha do produto químico utilizado no processo, posteriormente as peças vão para as máquinas de lavagens e/ou coloração. O primeiro processo é o de desengomagem que retira a goma, prepara o tecido para a sequência do processo até o final com a passagem ao ferro, separação, embalagem e entrega ao cliente.

Nas etapas de desengomagem, estonagem e redução, há um só enxágue com água. No alvejamento, tingimento e amaciamento são dois enxágues. Todas essas etapas geram efluentes negativos em função dos produtos químicos utilizados.

Posteriormente a etapa de lavagem das peças elas são encaminhadas para a centrifugação e secam em máquina, e também solar. O acabamento vem em seguida no setor da passadoria, finalizando com a separação das peças em lotes e entrega ao cliente.

Em cada etapa do processo, é necessário adequar o tempo de operação, temperatura e as dosagens dos produtos químicos utilizados. Em todas as etapas ocorrem o enxágue, no qual os resíduos dos produtos se concentram. Mesmo não sendo indicada a quantidade em litros de água, observa-se o grande volume utilizado devido às várias fases do processo.

As lavanderias oferecem diversos processos para o mercado, não se restringindo apenas a coloração do jeans, oferecem serviços como beneficiamento de peças ou a diferenciação de modelos com adereços no jeans cru ou já lavado (colorido). Alguns exemplos de diferenciação de modelos são: pistolado, com perfuração no tecido, lixado nas pernas das calças, bigode, as pernas das calças com cortes desfiados, partes da calça borradadas; dentre outros que surjam como moda.

Existe uma heterogeneidade de produtos químicos presentes nas etapas de lavagem do jeans, cada qual com sua função específica e conseqüentemente geração de efluente. A intensidade com que os produtos são utilizados no ciclo contínuo de operação do processo de lavagem tem levado a geração dos problemas ambientais pelas lavanderias.

### ***3.8. A disponibilidade hídrica no semiárido nordestino e as lavanderias do polo de confecção pernambucano***

O semiárido pernambucano possui relatos históricos de secas, umas das primeiras relatadas no Brasil foi segundo Campos (2014) descritos pelo padre Jesuíta Cardin na década de 1580 e 1590, que relatava a migração dos índios que povoavam o interior do Nordeste para o litoral em busca de alimentos.

As secas são classificadas segundo Campos (2014), como secas climatológicas, edáficas, hidrológicas e social. Assim, analisamos que o estado de Pernambuco, localizado no nordeste brasileiro, temos a menor disponibilidade hídrica do Brasil, que segundo o projeto de sustentabilidade hídrica- PSHPE (projeto que busca melhorar o saneamento e disponibilidade sustentável de água na bacia do rio Capibaribe com investimentos do Banco Mundial) se encontra em torno de  $1320\text{m}^3\text{hab}^{-1}\text{ano}^{-1}$  sendo colocado conforme classificação da Organização da Nações Unidas como situação de estresse hídrico (ONU, 2015).

A irregularidade pluviométrica no semiárido, característica natural do bioma possui em torno de 750 mm por ano, podendo chegar a 1000 mm, esta quantidade pode ser suficiente para garantir o volume de água para a população. Porém, o armazenamento para suprir o período de estiagem é ainda aquém da demanda necessitada pela população, sendo necessário a construção de reservatórios suficientes para a armazenagem (Amorin & Porto, 2003).

A realidade das lavanderias industriais está relacionada a sua extrema dependência de água tendo toda a sua estrutura baseada em processos úmidos. Temos como alguns exemplos de processos de beneficiamento de roupa dependentes de água a desengomagem, tingimento e amaciamento.

Os valores das quantidades de água utilizadas nas lavanderias variam conforme a tecnologia, processo no qual as roupas são submetidas. Segundo Ren (2000), o volume de uso é de cerca de 100 a 200 L  $\text{kg}^{-1}$  de roupa.

A dificuldade de acesso a água não foi empecilho para o desenvolvimento da atividade que atualmente se encontra fortemente instalada e que foi construída ao longo de décadas no polo de confecção pernambucano.

O poder econômico das lavanderias foi demonstrado no relatório final do estudo econômico do arranjo produtivo local de confecções do agreste pernambucano realizado

pelo SEBRAE, onde foi verificado que apesar do semiárido está passando por uma das maiores secas dos últimos tempos, a compra de caminhões pipas suprem a demanda por água e ainda permite o segmento ser economicamente viável (SEBRAE, 2013).

A qualidade da água utilizada nas lavanderias industriais requer bastante atenção, existem requisitos de qualidade da água que deve ser utilizada nos diversos processos e equipamentos, um exemplo é a caldeira que necessita de água com ausência de sais que poderiam causar incrustações e conseqüentemente diminuição de sua eficiência, bem como ausências de substâncias que possam corroer os metais da caldeira (Pereira, 2009).

Surge a preocupação no uso de água no processo, como nas etapas que utilizam enzimas que possuem faixas específicas de ação, como temperatura e pH, sendo necessário controle destes parâmetros para melhorar a eficiência do processo, além do uso em caldeiras

### ***3.9. A poluição da água pelo polo de confecção de Pernambuco***

A indústria têxtil requer altos volumes de água para a produção de tecido e, conseqüentemente, gera elevados volumes de efluentes. No agreste pernambucano estima-se que cerca de 50 litros de água são consumidos por quilo de tecido lavado (Pereira, 2009).

O Rio Capibaribe recebe descargas distintas de poluentes, como deflúvio superficial urbano, águas residuárias agrícolas, efluentes domésticos e industriais, entre os quais se destacam os de indústrias têxteis de beneficiamento de confecções de jeans no Polo de confecção do Agreste, formado pelas cidades de Caruaru, Toritama e Santa Cruz do Capibaribe. Nesse polo industrial de beneficiamento de confecções, Toritama é responsável por 16% de todo o jeans produzido no Brasil. Devido ao grande volume de água descartado e a diversidade de composição química, os efluentes dessas indústrias são um dos maiores poluentes da indústria química (CPRH, 2009).

Muitas indústrias tiveram e tem até os dias atuais a prática de descartar seus rejeitos nos rios e mares. Às vezes os esgotos das cidades não têm tratamento adequado e são despejados *in natura* nos mananciais que são fontes de água potável (Baird, 2002).

Os efluentes provenientes de processos industriais geralmente apresentam em sua composição uma grande diversidade de poluentes orgânicos e metálicos de difícil deterioração. Esses compostos são geralmente tóxicos a diversos organismos e às vezes, potencialmente carcinogênicos. Conseqüentemente, os efluentes descartados devem ser

cuidadosamente estudados quanto a sua biodegradabilidade e sua toxicidade, a fim de que sejam evitados, ou minimizados os impactos ambientais, causados pelos seus despejos (Baird, 2002).

Os processos de tingimento de vestuários produzem resíduos, entre os quais metais pesados (cádmio, níquel, zinco, cromo, chumbo e cobre) e corantes que são poluentes. O maior volume desses efluentes é gerado nas etapas de lavagem, alveijamento, tingimento, desengomagem e acabamento. Possuem elevada carga poluidora, constituída por compostos orgânicos como: amido, graxa, pectinas, álcoois, corante e sabões, além das várias etapas do processo (Balan, 2000).

Na cidade de Toritama no ano de 2000, segundo o diagnóstico ambiental das lavanderias de Toritama – PE (CPRH, 2009), ocorreu as primeiras denúncias de poluição hídrica no rio Capibaribe, onde a Agência Estadual de Meio Ambiente – CPRH, verificou as não conformidades com a legislação do setor. Nos anos que se seguiram ocorreram ações para melhorar os aspectos ambientais das lavanderias, com reuniões em 2001 com a participação do CPRH e câmara de dirigentes lojistas.

Os processos das lavanderias, utiliza-se diversos produtos químicos, que podem vir a causar danos à saúde humana ou ambiental, caso não sejam devidamente manuseados. Costa (2008) aponta quais os produtos utilizados nos processos de lavagem do jeans: corantes reativos, básicos, ácidos, mordentes, diretos ou substantivos, azoicos, de enxofre, pré-metalizado, branqueadores, a cuba ou tina.

Além desses produtos, destacam-se dois produtos prejudiciais à saúde humana: o percloroetileno e o permanganato de potássio. O percloroetileno é um gás solvente que serve como removedor de tinta e que ocasiona diversos males ao ser humano, em alguns casos quando o resíduo é inalado, podem causar enjoos, fadiga, dores de cabeça e a perda da consciência ou até mesmo câncer (Viñolas, 2005).

A Agência de Vigilância Sanitária (ANVISA), através da Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) 161, de 23/06/2004, estabelece regras para a utilização do percloroetileno, no objetivo de proteger o meio ambiente e a saúde da população e dos trabalhadores.

Já o permanganato de potássio é um composto químico que serve como agente oxidante, de coloração violeta. Nas lavanderias de jeans é usado para desbotar a peça, conforme indica o Sindicato de lavanderias (SINDILAV, 2012). O permanganato de potássio também contém em sua composição o metal manganês que pode causar psicose, perda da expressão facial, ausência do ato de piscar, gagueira e insônia, tremores nas

mãos, rigidez dos membros e outros sintomas similares à doença de Parkinson (Teixeira, 2010).

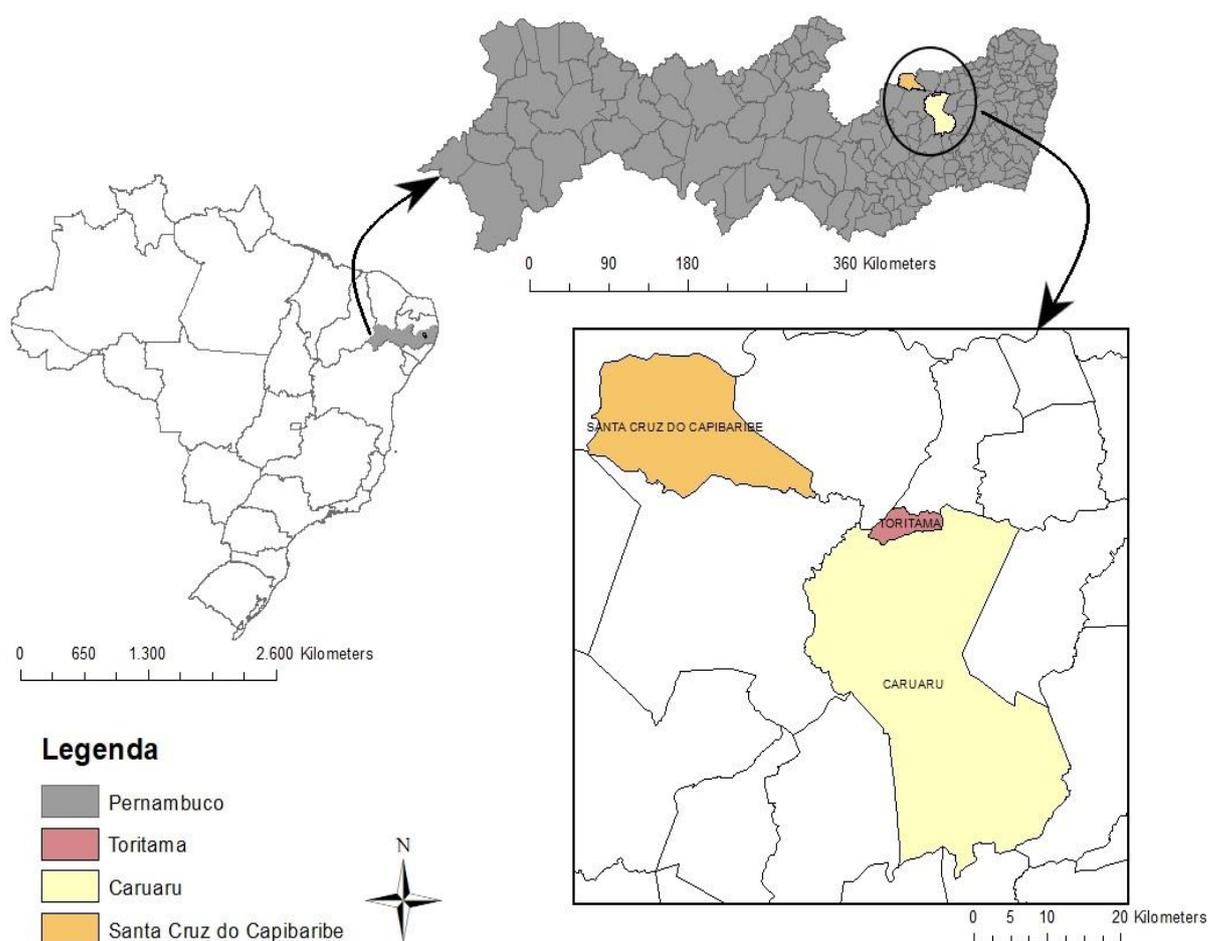
É importante salientar que existem cinco tipos de impactos relacionados às lavanderias, destes, dois são causados pela não utilização da estação de tratamento de água, como o desperdício de água e a contaminação nas águas.

Silva Filho (2013) aponta outros possíveis impactos derivados do processo geral das atividades de uma lavanderia têxtil de jeans. A literatura registra uma diversidade de efluentes gerados devido aos diversos produtos químicos empregados no processo de lavagem do jeans.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. Área de Estudo

A pesquisa foi desenvolvida junto às indústrias/lavanderias têxteis localizadas no Polo de Confeções do Agreste de Pernambuco, especificamente nas cidades de Toritama (Latitude: 7° 59' 56" Sul, Longitude: 36° 3' 8" Oeste), Caruaru (Latitude: 08° 17' 00" Sul, Longitude: 35° 58' 34" Oeste) e Santa Cruz do Capibaribe (Latitude: 7°57'26" Sul, Longitude: 36°12'16" Oeste) (Figura 1).



**Figura 1-** Mapa do Brasil com destaque para as cidades do Polo de Confeções do Agreste pernambucano.

O clima da região, segundo a classificação Köppen, é do tipo semiárido Bwh, com temperatura média anual de 26 °C. A evapotranspiração potencial da região varia de 1500 a 1900 mm anuais, com período seco predominante de 6 a 8 meses. A precipitação é irregular concentrada em 2 a 3 meses do ano e média anual em torno de 550 mm (Beltrão

et al., 2005). Sendo que Toritama possui uma precipitação média anual de 516 mm, Caruaru 516 mm e Santa Cruz do Capibaribe de 417,49 mm e a intensidade da precipitação considerada como moderada para as três cidades. A região é banhada pelos rios Ipojuca e Capibaribe (Nobrega et al., 2015; Medeiros, 2019).

#### **4.2. Levantamento de dados**

Os dados foram levantados dentro de um universo de 17 indústrias/lavanderias, sendo 6 localizadas na cidade de Caruaru, 7 lavanderias localizadas na cidade de Toritama - PE e 4 localizadas em Santa Cruz do Capibaribe, agreste do estado de Pernambuco. Essa região corresponde a 15 % do território Pernambucano (SEBRAE, 2017). As indústrias/lavanderias têxteis foram identificadas com base no nome das cidades e com uma letra identificando-as, conforme Tabela 1.

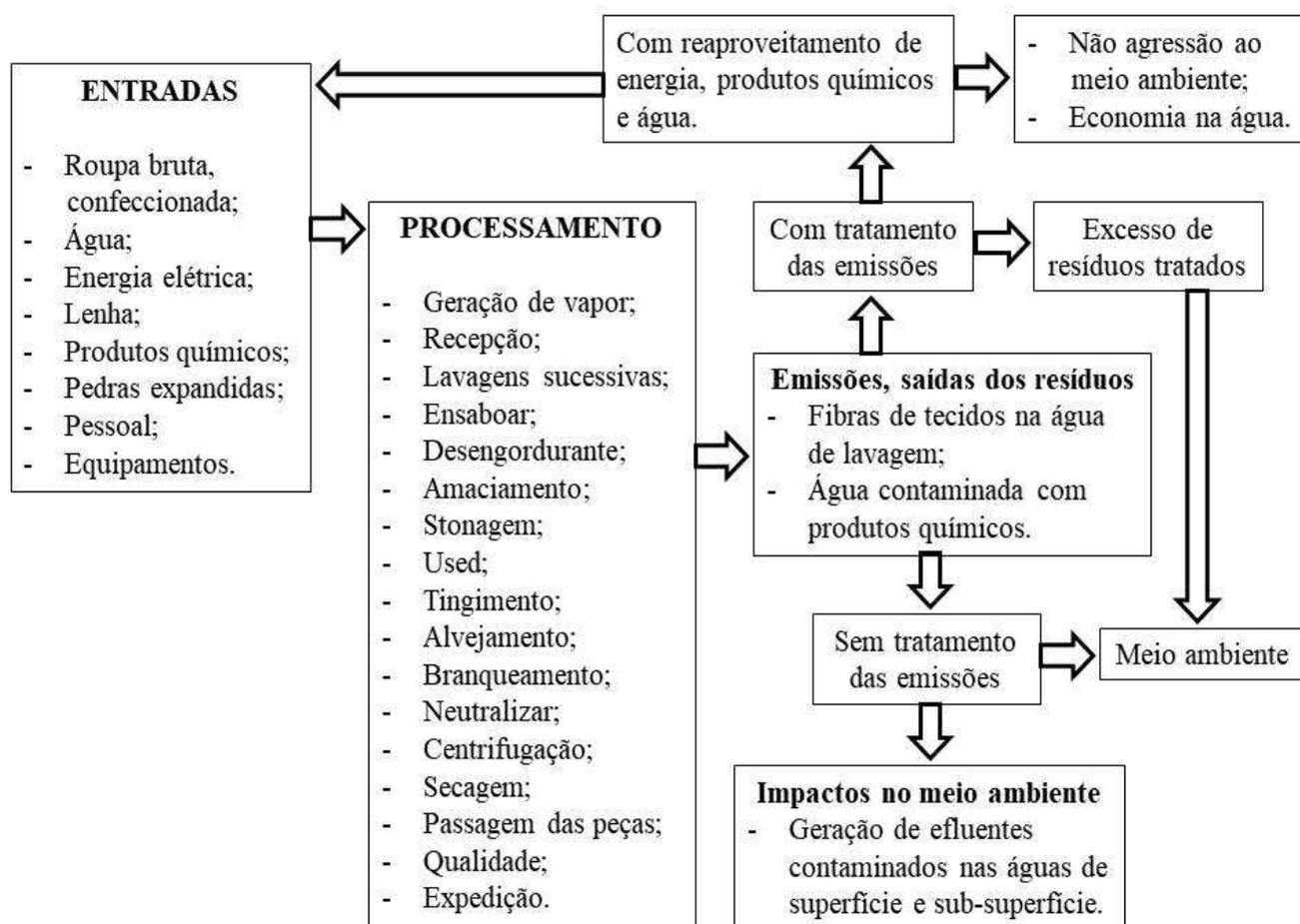
**Tabela 1-** Identificação das Lavanderias/indústrias têxteis nas três cidades estudadas.

<b>Cidades das Lavanderias</b>	<b>Denominação utilizada</b>
Santa Cruz do Capibaribe	S. C. do Capibaribe – A
	S. C. do Capibaribe – B
	S. C. do Capibaribe – C
	S. C. do Capibaribe – D
Toritama	Toritama – A
	Toritama – B
	Toritama – C
	Toritama – D
	Toritama – E
	Toritama – F
	Toritama – G
Caruaru	Caruaru – A
	Caruaru – B
	Caruaru – C
	Caruaru – D
	Caruaru – E
	Caruaru – F

A obtenção dos dados para determinar a pegada hídrica cinza dos principais produtos químicos utilizados no beneficiamento de jeans, foram quantificados por meio da aplicação de questionários (anexo I) aos responsáveis pelas indústrias/lavanderias estudadas no período de 2017 a 2018, anos considerados padrões em se tratando de moda como fator de influência nos produtos químicos utilizados no beneficiamento do jeans.

Nos questionários foram abordadas as seguintes informações: dados da empresa, como tempo de funcionamento das Lavanderias, quantidade de funcionários, CNPJ, número de peças produzidas, resíduos gerados durante o processo que utiliza os recursos hídricos e seu destinos; destinos dos efluentes industriais; utilização de medidas de conservação ao meio ambiente; origem da matéria prima, volume de efluente depositado nos rios. As informações coletadas serviram de suporte para analisar os possíveis impactos ambientais no Pólo de Confecções de Santa Cruz do Capibaribe, Toritama e Caruaru.

As etapas para o processamento do jeans e seus respectivos impactos, encontram-se na (Figura 2), observa-se que existem dois tipos de impactos relacionados a água das indústrias/lavanderias, dividindo-se em causados pela não utilização da estação de tratamento de água, como o desperdício de água e a aqueles gerados pela contaminação direta das águas.



**Figura 2** – Etapas do processamento de uma indústria/ lavanderia e seus respectivos impactos. Adaptado de Silva Filho, (2013, p. 90).

### ***4.3. Quantidade de peças produzidas, consumo de água bruta, percentual de água reutilizada e volume de água depositado nos rios***

Em cada empresa visitada foi quantificado o número de peças produzidas (NPL mês), informações essas obtidas com as pessoas que recepcionou no momento da aplicação dos questionários. Cabe ainda destacar que a quantidade de peças produzidas assim como o consumo de água varia de acordo como o ano, moda que poderá exigir maior ou menor quantidade e porte da indústria/lavanderia têxtil.

As indústrias/ lavanderias foram classificadas quanto ao porte de acordo com o número de peças produzidas por dia, conforme Tabela 2. Considerou-se que uma peça jeans tem, em média, 500 g.

**Tabela 2** - Classificação quanto ao porte das indústrias/lavanderias com base no número de peças produzidas por dia.

<b>Classificação quanto ao Porte</b>	<b>Número de peças produzidas por dia</b>
Pequeno porte	Menos de 750 peças dias <sup>-1</sup>
Médio Porte	750 a 3000 peças dia <sup>-1</sup>
Grande Porte	Acima de 3000 peças dia <sup>-1</sup>

O consumo de água bruta (CAB) em (m<sup>3</sup>mês<sup>-1</sup>) foi quantificada com base no volume de água utilizado para cada etapa de beneficiamento de jeans, dado este fornecido pelos empresários no momento da aplicação dos questionários.

O percentual de água reutilizada (% água reutilizada) determinou-se com base nos dados obtidos por meio da aplicação dos questionários, assim como a percentagem de efluente depositado no rio (% efluente) e o volume de efluente lançado no rio (VELR) em (m<sup>3</sup>mês<sup>-1</sup>) para cada uma das empresas visitadas.

### ***4.4. Principais poluentes utilizados***

Os principais poluentes analisados no estudo foram definidos de acordo com levantamento feito com base no questionário aplicado as indústrias/lavanderias têxteis, onde se obteve o consumo de cloro (CC) princípio ativo (hipoclorito de sódio), de permanganato de potássio (CPP), de metabissulfito de sódio (CMS), de amaciante (CA) princípio ativo (peróxido de hidrogênio) e de metassilicato (CM) em (kg mês<sup>-1</sup>) para as empresas de acordo com o porte.

Os produtos químicos foram selecionados de acordo com as principais etapas das lavanderias, as etapas identificadas foram: Descoloração/Used (permanganato de potássio), Alvejamento (metassilicato de sódio), Neutralização (metabissulfito de sódio), Amaciamento (peróxido de hidrogênio) e Tingimento (hipoclorito de sódio).

Os principais produtos químicos utilizados nas diferentes fases de beneficiamento do jeans na região do agreste de Pernambuco, juntamente com o peso molecular, etapas de beneficiamento e finalidade de cada etapa, encontram-se na Tabela 3. O peso molecular é importante, pois quanto maior mais sorvido pela matéria orgânica e conseqüentemente maior influência no Coeficiente de participação de carbono (Koc).

**Tabela 3** - Principais produtos químicos empregados nas diversas etapas de beneficiamento do jeans.

Etapas do Beneficiamento de Jeans	Respectivas finalidades	Produto Químico	Formula Molecular	Peso Molecular (g $mol^{-1}$ )
Descoloração do jeans/ Used	Remover coloração	Permanganato de potássio	KMnO <sub>4</sub>	158,00
Alvejamento	Remover coloração amarela (natural) do material têxtil	Metassilicato de sódio	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	122,06
Neutralização	Remover o excesso de permanganato e proporciona um efeito de manchas brancas aleatórias na superfície do tecido.	Metabissulfito de sódio	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	190,10
Amaciamento	Remover coloração amarela (natural) do material têxtil	Peroxido de hidrogênio	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	34,01
Tingimento	Conferir coloração ao material têxtil	Hipoclorito de sódio	NaClO	74,44

Fonte: Adaptado do SINDITEXTIL (2017).

#### 4.5. Pegada hídrica cinza

O cálculo da pegada hídrica cinza (PHC) se baseia em um estudo sistemático e sequencial, por meio de pesquisas específicas, relacionadas aos fatores que estão intimamente ligados ao favorecimento da lixiviação/ escoamento do produto químico nas camadas superficiais e subterrâneas do solo e da água. Dentre esses fatores, destacam-se o coeficiente de partição do carbono (Koc), a precipitação média da região estudada e a

intensidade da precipitação. O Koc é, portanto, o coeficiente de partição do contaminante entre solo-água corrigido pela matéria orgânica do solo, ele foi utilizado em decorrência dos resíduos químicos da indústria têxtil ser descartada tanto no solo quanto na água.

A Pegada Hídrica Cinza (PHC) foi calculada para cada fase de beneficiamento do jeans descoloração (permanganato de potássio), alveijamento (metassilicato de sódio), neutralização (metabissulfito de sódio), tingimento (hipoclorito de sódio) e amaciamento (Peroxido de hidrogênio).

O cálculo foi realizado pela divisão da carga poluente (L, em massa/tempo) pela diferença entre a concentração do padrão ambiental de qualidade da água para um determinado poluente (a concentração máxima aceitável  $c_{max}$ , em massa/volume) e sua concentração natural no corpo d'água receptor ( $c_{nat}$ , em massa/volume). (Hoekstra et al., 2011) conforme a Equação 01, de acordo com a metodologia de Franke et al. (2013).

$$PH_{cinza} = \frac{L}{c_{m\acute{a}x} - c_{nat}} = \frac{\alpha \times Apl}{c_{m\acute{a}x} - c_{nat}} \quad (1)$$

em que:

Apl - a variável que representa a quantidade de substâncias químicas aplicadas no solo em um determinado processo (em massa/tempo);

L - Carga de poluente (massa/tempo);

Cmáx - Concentração máxima aceitável (massa/ volume);

Cnat - Concentração natural do corpo receptor (massa/volume);

$\alpha$  - fração de lixiviação ou escoamento (Adimensional).

As concentrações máximas (Cmax) permitidas dos poluentes selecionados foram obtidas através de portais, sites e legislações que tratam sobre padrões de qualidade da água em seu estado natural. No caso do Brasil, utilizou-se a Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005) para águas doces Classe II. Em casos de não obtenção dos valores de Cmax na legislação brasileira, foram utilizadas legislações da União Européia (EUR, 2008), Conselho Canadense de Ministros do Meio Ambiente (CMME, 2018) e Agência de Proteção do Meio Ambiente dos Estados Unidos (US-EPA, 2018), pois de acordo com Franke et al. (2013), estas normas estão atualizadas e são cientificamente confiáveis.

Assim, foram analisadas as PHC das cinco fases de beneficiamento do jeans/ os produtos químicos usados nas indústrias/lavanderias têxteis das cidades de Toritama,

Santa Cruz do Capibaribe e Caruaru. Sendo assim, foram verificados inicialmente os valores da taxa de aplicação do produto comercial (TACP kg mes<sup>-1</sup>), a concentração da substância ativa do produto (CP g kg<sup>-1</sup>) e o número de aplicações dos produtos (NA, mês), nesse item considerou-se como sendo aplicado cada produto uma vez por mês ao longo de 12 meses. As informações referentes aos produtos químicos utilizadas pelas indústrias têxteis foram obtidos nas bulas de cada produto durante as visitas. A taxa de aplicação da substância ativa (TAS t ano<sup>-1</sup>) foi calculada através da multiplicação dos valores de TACP (kg mes<sup>-1</sup>), CP (g kg<sup>-1</sup>) e NA (mês).

As frações de lixiviação ou escoamento ( $\alpha$ ) das substâncias químicas, foram analisadas de acordo com tabela proposta por Franke et al. (2013). Os fatores que acarretam o escoamento foram divididos em categorias: propriedades físico-químicas da substância aplicada e condições ambientais. Além disso, para distinguir os potenciais de lixiviação/escoamento para cada fator analisado, foram atribuídos valores de 0 a 1, em que 0 equivale a um potencial muito baixo; 0,33 baixo; 0,67 ou igual é considerado elevado e 1 corresponde ao potencial muito alto (Tabela 4 e 5).

**Tabela 4** - Fatores que influenciam o potencial de lixiviação ou escoamento ( $\alpha$ ). Adaptado de Franke et al. (2013).

Categoria	Fator	Produtos químicos					
		Potencial de lixiviação vazão	Muito Baixo	Baixo	Alto	Muito Alto	
		Valor (S) →	0,00	0,33	0,67	1,00	
		Peso (w)					
Propriedades Químicas	Koc (L kg <sup>-1</sup> )	20	>1000	1000-200	200-50	<50	
Fatores Ambientais	Clima	IP(mm)	10	Baixa	Moderada	Alta	Muito Alta
		P(mm)	5	<600	600-1200	1200-1800	>1800

Koc – Coeficiente de partição do carbono orgânico no complexo solo-água; IP – Intensidade de precipitação; P – Precipitação. Fonte: Franke et al. (2013).

**Tabela 5** - Potenciais de lixiviação-escoamento em relação aos fatores químicos e fatores ambientais. Adaptado de Franke et al. (2013).

Produtos Químicos	K <sub>oc</sub> (L kg <sup>-1</sup> ) 20*	IP (mm) 10*	P (mm) 5*
Permanganato de Potássio	0,0117 (1,00)	M (0,33)	516,0 (0,00)
Metassilicato de Sódio	<50 (1,00)	M (0,33)	516,0 (0,00)
Metabissulfito de Sódio	0,640 (1,00)	M (0,33)	516,0 (0,00)
Peroxido de Hidrogenio	1,56 (1,00)	M (0,33)	516,0 (0,00)
Hipoclorito de Sódio	<50 (1,00)	M (0,33)	516,0 (0,00)

K<sub>oc</sub> – Coeficiente de partição de carbono orgânico no complexo solo-água utilizado, pois os resíduos foram depositando tanto no solo quanto no corpo hídrico; IP – Intensidade de precipitação; P – Precipitação.

O fator adimensional  $\alpha$  que representa a fração lixiviação ou escoamento, definido como a fração de substâncias químicas aplicadas que atingem os corpos d'água foi calculada utilizando a Equação 02, com base nos dados obtidos da Tabela 4 e 5: relacionando os valores encontrados de potencial de lixiviação ou escoamento ( $S_i$ ) com o peso de cada fator ( $W_i$ ).

$$\alpha = \alpha_{\min} + \left[ \frac{\sum_i S_i x W_i}{\sum_i W_i} \right] x (\alpha_{\max} - \alpha_{\min}) \quad (2)$$

em que:

$\alpha_{\min}$  - fração de lixiviação/vazão mínima;

$\alpha_{\max}$  - fração de lixiviação-vazão máxima;

$S_i$  - potencial de lixiviação-escoamento;

$W_i$  - peso do fator.

As frações mínimas e máximas de lixiviação ou escoamento para as substâncias químicas em estudo foram: o mínimo ( $\alpha_{\min} = 0,0001$ ) e o máximo ( $\alpha_{\max} = 0,1$ ), conforme Franke et al. (2013).

Multiplicando os valores de  $\alpha$  com TAS, obteve-se a carga poluente (L) aplicada de cada substância química usada na indústria têxtil.

O cálculo da Pegada Hídrica Cinza de cada produto (PHC) foi obtida multiplicando-se a taxa de aplicação de substâncias químicas (TAS), pela fração de

lixiviação ( $\alpha$ ), dividida pela concentração máxima aceitável ( $C_{max}$ ), menos a concentração natural do poluente em questão ( $C_{nat}$ ), divididas pela quantidade de jeans produzida durante o ano ( $P$ ). (Hoekstra et al., 2011). Equação 03:

$$PHC = \frac{(\alpha \times TAS)/(C_{m\acute{a}x} - C_{nat})}{P} \quad (3)$$

em que:

PHC - pegada hídrica cinza ( $m^3kg^{-1}$ );

$\alpha$  - Fração de lixiviação;

TAS - Taxa de aplicação de substâncias químicas ( $t \text{ ano}^{-1}$ );

$C_{max}$  - Concentração máxima admissível do poluente no meio aquático receptor ( $t \text{ m}^{-3}$ );

$C_{nat}$  - Concentração natural do poluente considerado no meio aquático receptor ( $t \text{ m}^{-3}$ );

P - Produtividade de Jeans ( $kg \text{ ano}^{-1}$ ).

Com base nesses dados, foi possível calcular a pegada hídrica cinza por cidade e por porte da indústria/lavanderia têxtil.

#### ***4.6. Pegada hídrica cinza do processo de beneficiamento de jeans***

A pegada hídrica cinza do processo da indústria têxtil ( $PHC_p \text{ m}^3\text{ano}^{-1}$ ) relativa ao processo industrial levando em consideração o produto químico ou etapa que mais necessitam de água doce para assimilar a carga original de poluentes para as concentrações naturais dos corpos hídricos, foi obtida com base na equação (4), conforme metodologia de (Wang et al., 2013).

$$PHC_p = \sum PHC_p = \sum \left( \max \left( \frac{L}{C_{max} - C_{nat}} \right) \right) \quad (4)$$

em que:

$PHC_p$  - pegada hídrica cinza do processo da indústria têxtil ( $m^3\text{ano}^{-1}$ );

Max - Produto ou processo com maior pegada hídrica individual ( $m^3kg^{-1}$ );

L ou TAS - Carga de poluente ( $t \text{ ano}^{-1}$ );

$C_{max}$  - Concentração máxima admissível do poluente no meio aquático receptor ( $t \text{ m}^{-3}$ );

$C_{nat}$  - Concentração natural do poluente considerado no meio aquático receptor ( $t \text{ m}^{-3}$ );

#### 4.7. Sustentabilidade da PHC da indústria têxtil

Segundo Hoekstra et al. (2011), o efeito da pegada hídrica cinza total depende do escoamento disponível na bacia para assimilar os efluentes. Uma pegada hídrica cinza em um período específico em uma dada bacia torna-se um ponto crítico quando os padrões de água em seu estado natural naquele período e naquela bacia são violados, ou seja, quando a capacidade de assimilação de resíduos for totalmente consumida.

Hoekstra afirma que é considerado um relevante indicador de impacto local, pode-se calcular o ‘nível de poluição da água’ (NPA) em uma bacia, que mede o grau de poluição. Ele é definido como a fração consumida da capacidade de assimilação de efluentes e calculado pela razão entre o total das pegadas hídricas cinza ( $\Sigma PHC$ ,  $m^3$ ) e o escoamento real de uma bacia ( $Q_{real}$ ,  $m^3ano^{-1}$ ). O nível de poluição da água é calculado para uma bacia  $x$  e tempo  $t$ , conforme equação 05.

$$NPA[x, t] = \frac{\Sigma PHC_{cinza}[x,t]}{Q_{real}[x,t]} \quad (5)$$

Os rios utilizados para a determinação do nível de poluição da água no polo de Confecções do Agreste Pernambucano foram o Ipojuca com vazão de  $66.137,99 m^3ano^{-1}$  e Capibaribe com  $1.339.207,77 m^3ano^{-1}$ , essas são vazões no momento de maior pico dos rios (SRH, 2019).

O nível de poluição da água foi classificado como sustentável e insustentável de acordo com a metodologia de Hoekstra et al. (2011) que considera sustentável quando o NPA de uma bacia é inferior a 100% indica que a capacidade de assimilação de resíduos ainda não foi totalmente utilizada. E insustentável quando o nível de poluição excede os 100%, os padrões de qualidade da água em seu estado natural são violados.

A avaliação da sustentabilidade da pegada hídrica cinza depende do escoamento disponível na bacia para assimilar os efluentes e do período específico que pode ser considerado um ponto crítico, quando os padrões de água em seu estado natural naquele período e naquela bacia são violados, ou seja, quando a capacidade de assimilação de resíduos for totalmente consumida.

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. É possível calcular o nível de poluição da água em bacias maiores e/ou menores.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Quantificação do consumo de água bruta, número de peças produzidas e percentual de água reutilizada nas lavanderias

As indústrias/lavandarias têxteis estudadas apresentaram dados distintos quanto ao consumo de água bruta (CAB) em ( $\text{m}^3\text{mês}^{-1}$ ), número de peças lavadas (NPL, mês), percentual de água reutilizada (% água reutilizada), percentagem de efluente depositado no rio (% efluente) e volume de efluente lançado no rio (VELR) em ( $\text{m}^3\text{mês}^{-1}$ ). As indústrias/lavandarias têxteis foram classificadas quanto ao porte de acordo com o número de peças lavadas por mês em pequeno, médio e grande porte. Nota-se que das 17 indústrias/lavandarias têxteis visitadas 9 foram classificadas como de pequeno porte, 5 de médio porte e 3 como de grande porte distribuídas nas cidades estudadas (Tabela 6).

**Tabela 6** - Classificação das lavanderias quanto ao porte e valores observados para o consumo de água bruta (CAB) em ( $\text{m}^3\text{mês}^{-1}$ ), número de peças lavadas (NPL, mês), percentual de água reutilizada (% água reutilizada), percentagem de efluente depositado no rio (%efluente) e volume de efluente lançado no rio (VELR) em ( $\text{m}^3\text{mês}^{-1}$ ).

Porte das Lavanderias	Lavanderias	Valores observados				
		CAB ( $\text{m}^3\text{mês}^{-1}$ )	NPL (mês)	%água reutilizada	% efluente	VELR ( $\text{m}^3\text{mês}^{-1}$ )
Pequeno	S. C. do Capibaribe - A	216,00	5520,00	40,00	60,00	129,00
	S. C. do Capibaribe - B	336,00	6360,00	00,00	100,00	336,00
	S. C. do Capibaribe - C	144,00	6000,00	40,00	60,00	86,40
	Toritama - A	288,00	9600,00	40,00	60,00	172,60
	Toritama - B	240,00	6720,00	00,00	100,00	240,00
	Toritama - C	260,00	7800,00	40,00	60,00	216,00
	Toritama - D	192,00	7200,00	00,00	100,00	192,00
	Caruaru - A	408,00	7200,00	45,00	55,00	224,40
	Caruaru - B	168,00	5280,00	40,00	60,00	100,80
Medio	S. C. do Capibaribe - D	840,00	31200,00	48,00	52,00	436,00
	Toritama - E	792,00	21600,00	60,00	40,00	475,20
	Caruaru - C	1320,00	28800,00	70,00	30,00	396,00
	Caruaru - D	672,00	52800,00	52,00	48,00	322,56
	Caruaru - E	960,00	60000,00	63,00	37,00	355,20
Grande	Toritama - F	5880,00	76800,00	90,00	40,00	2352,00
	Toritama - G	7200,00	96000,00	85,00	15,00	1080,00
	Caruaru - F	4800,00	72000,00	78,00	22,00	1056,00
Média de valores						
Pequeno	-	261,33	6853,33	27,22	72,78	188,67
Medio	-	916,80	38880,00	46,60	35,40	317,95
Grande	-	5960,00	81600,00	84,33	25,67	1496,00

A CAB, NPL, % água reutilizada, % efluente e VELR diferem a depender do porte, bem como a cidade a qual está inserida (Tabela 6). Percebe-se que o consumo de água bruta, o número de peças produzidas, o percentual de água reutilizada e o volume de efluente lançado no rio são crescentes, quando se compara as lavanderias de pequeno, médio e grande porte (Tabela 6). Observa-se ainda, que as indústrias/lavandarias têxteis de pequeno porte da cidade de Santa Cruz do Capibaribe consomem em média  $233 \text{ m}^3\text{mês}^{-1}$  e produzem em média  $5900 \text{ peças mês}^{-1}$  (Tabela 6).

Já as indústrias/lavanderias têxteis de Toritama, consideradas de pequeno porte chegam a consumir de água bruta (CAB)  $245 \text{ m}^3\text{mês}^{-1}$  e produzem em média  $7830 \text{ peças mês}^{-1}$ . Para a cidade de Caruaru, as lavanderias têxteis de pequeno porte demandam em média  $288 \text{ m}^3\text{mês}^{-1}$  para uma capacidade de produção de  $6240 \text{ peças mês}^{-1}$  (Tabela 6).

A indústria/lavanderia têxtil Toritama “A” consome de água bruta  $288 \text{ m}^3\text{mês}^{-1}$  e produzem cerca de  $9600 \text{ peças mês}^{-1}$  (Tabela 6). No entanto, cabe destacar que uma das indústrias/lavandarias têxteis classificadas como de pequeno porte na cidade de Caruaru “A” possui um CAB de  $408 \text{ m}^3\text{mes}^{-1}$  e uma produção de  $7200,00 \text{ peças mês}^{-1}$ . Ou seja, mesmo consumindo mais água, as indústrias/lavandarias têxteis de pequeno porte Caruaru “A” tem uma produção de peças mensais inferiores a Toritama “A”, fato que pode ser justificado pela maior eficiência produtiva das empresas da cidade de Toritama.

Monteiro et al. (2019), afirmam que a produção de jeans é o forte da cidade de Toritama-PE, mensalmente as indústrias/lavanderias têxteis instaladas no município respondem por  $5.394.137$  peças, sendo estes os principais itens fabricados: calças (36,2%), short (35,25%), bermuda (9,9%), calça feminina (5,3%) e saia (4,5%); pois, juntos representam 91% (noventa e um por cento) da produção.

Os valores de consumo de água bruta mensal para indústria/lavanderia de pequeno porte, observados nesse estudo são semelhantes aos relatados por Viana et al. (2018) ao descreverem um consumo de água bruta de  $356 \text{ m}^3\text{mês}^{-1}$  para uma demanda mensal de aproximadamente  $8250$  peças de jeans beneficiadas.

Já Marcelino (2013) afirma que, as indústrias/lavanderias têxteis de pequeno porte mensalmente, procedem a lavagem de, aproximadamente,  $10.000$  peças, com um consumo de água bruta de  $20 \text{ m}^3\text{dia}^{-1}$ , ou seja, cerca de  $600 \text{ m}^3\text{mês}^{-1}$ . Resultado este que se aproxima do observado no presente estudo, uma vez que as empresas de pequeno porte têm produção e consumo de água bruta similar.

As indústrias/lavanderias têxtis classificadas como de médio porte na cidade de Santa Cruz do Capibaribe, apresentam uma demanda superior a 30000 mil peças mensais para um consumo de  $840 \text{ m}^3\text{mês}^{-1}$ , em contrapartida, a cidade de Toritama possui um consumo de  $792 \text{ m}^3\text{mês}^{-1}$  para uma demanda de 21600 mil peças mensais (Tabela 6). Já a cidade de Caruaru, tem um consumo de água bruta superior a Santa Cruz do Capibaribe e Toritama, correspondendo a uma média de  $984 \text{ m}^3\text{mês}^{-1}$  para um número médio de peças mensais de 47200 (Tabela 6).

Dentre as empresas de médio porte, Caruaru “C” se destaca por ter um consumo de  $672 \text{ m}^3\text{mês}^{-1}$ , e uma produção de 52800 peças  $\text{mês}^{-1}$ . Esses resultados diferem dos obtidos para a cidade de Caruaru por Viana et al. (2018) para indústria/lavanderia têxtil de médio porte quanto ao consumo de  $1260 \text{ m}^3\text{mês}^{-1}$ , no entanto, tem uma produção de 52500 peças mensais semelhante. Nota-se que mesmo utilizando quase o dobro de CAB Viana et al. (2018) obtiveram praticamente os mesmos números de peças produzidas ao mês, evidenciando que as empresas podem ter consumos diferentes e produções semelhantes, o que pode estar atrelado a gestão do reuso de águas pelas empresas e conseqüentemente sua eficiência em termos de produção.

Apesar dos números obtidos com os entrevistados das indústrias/lavanderias têxteis (Tabela 6), a observação visual realizada ao redor das empresas evidenciou certa contradição entre as informações coletadas, pois, se de fato esse sistema estava em operação, ele não trouxe nenhuma melhoria na qualidade do líquido despejado nas águas, uma vez que a coloração da água e o cheiro são característicos do ambiente das empresas. Alguns administradores das indústrias/lavanderias têxteis alegam que a água, mesmo após o tratamento, ainda contém restos de produtos, o que resulta em uma lavagem de jeans malfeita, fazendo com que optem por não reutilizar a água.

Não foi possível coletar dados na Santa Cruz do Capibaribe indústrias/lavanderias têxtis classificadas como de grande porte. Contudo, a cidade de Toritama consome nas indústrias de grande porte cerca de  $6540 \text{ m}^3\text{mês}^{-1}$  para um número de peças de 86400. E, Caruaru  $4800 \text{ m}^3\text{mês}^{-1}$  tendo uma produção 72000 peças  $\text{mês}^{-1}$ (Tabela 6).

Segundo o SEBRAE (2013), para lavar uma peça de jeans se gasta em torno de 60 a 100 litros de água, então, se pode imaginar a quantidade de litros utilizados em uma indústria/lavanderia têxtil que lava no mínimo 20.000 peças  $\text{mês}^{-1}$ . Fato que pode ser observado nas indústrias/lavanderias têxteis de médio e grande porte, que possuem uma produção superior a 20000 peças  $\text{mês}^{-1}$ .

As indústrias/lavanderias têxteis de pequeno porte, reutilizam em média cerca de 27%, de médio porte 46% e de grande porte 84% nos processos de beneficiamento do jeans. Assim, a percentagem de efluente depositado no rio (% efluente) é maior nas indústrias/lavanderias têxteis de pequeno porte, quando comparada as de médio e grande porte, apesar das de pequeno porte lançarem um volume de efluente no rio inferior as de médio e grande porte (Tabela 6). Essa característica está associada ao consumo de água bruta, visto que, por mais que as lavanderias de médio e grande porte tenham um percentual de reuso maior elas consomem mais água que as de pequeno porte, assim o VELR ( $\text{m}^3\text{mês}^{-1}$ ) ainda será elevado (Tabela 6).

Uma alternativa para minimizar os impactos ambientais do lançamento dos efluentes das indústrias têxteis no leito dos rios, poderia ser a construção de lagoas de decantação para os efluentes afastadas dos rios, para não ocorrer o escoamento, reduzindo desta forma os níveis de poluição nos rios.

As indústrias/lavanderias de pequeno porte possuem menos condições para realizar o reuso de água, no entanto, estão realizando de forma a minimizar os danos do uso excessivo de água. Muitas empresas de grande e médio porte fazem a captação de água da chuva o que tem propiciado redução da utilização de água bruta retirada dos rios. Tais ações e medidas podem diminuir o consumo de água, beneficiando, não somente o meio ambiente, como também as indústrias, por reduzirem os custos com a compra ou a captação da água (Viana et al., 2018).

Para Silva et al. (2012), em muitos casos existe a falta de interesse em aplicar algum tipo de tratamento da água, ou de melhorar a eficiência do processo de beneficiamento de jeans, o que pode estar relacionado ao posicionamento dos demandantes dos serviços prestados pelas indústrias/lavanderias têxteis. Possivelmente, a obtenção de um sistema mais moderno de tratamento da água visando o reuso, elevaria os custos produção, e como consequência, refletiria no seu preço final, diminuindo a demanda pelos serviços.

As indústrias/lavanderias têxteis são consideradas empresas com elevado consumo de água em suas etapas de beneficiamento. De acordo com Viana et al. (2018), esse consumo elevado de água pode vir a causar alguns impactos como a escassez de água, a poluição dos rios entre outros. Contudo, Lorena et al. (2016) afirmam que o reuso da água dentro do processo industrial das lavanderias têxteis é considerado uma alternativa importante para redução dos poluentes gerados.

Barros (2012) relatam que, o uso de tecnologias disponíveis para reduzir a contaminação e o consumo hídrico não pode ser descartado dentro das empresas. Deste modo, o estabelecimento de estratégias sustentáveis para a redução do consumo e aumento do reuso se tornam necessários, além do planejamento e operações corretas, que podem contribuir para a diminuição da poluição ambiental.

Para tentar controlar esses níveis de efluente depositado nos rios o SINDILAV (2012), criou uma cartilha de boas práticas ambientais para indústrias/lavanderias têxteis, indicando a adoção de medidas, como o reuso da água; energia solar e o gerador de ozônio, essa cartilha embora desenvolvida para indústrias têxteis do Rio Grande do Sul, tem contribuído para as empresas do agreste pernambucano. Estratégias essas que reduzem o consumo de água em cerca de 70%, diminuir de 50 a 70% o uso dos produtos químicos nos processos, e também reduzem o tempo de lavagem em até 50%, diminuindo assim o consumo de energia. Por isso, essas tecnologias surgem como alternativas para a produção sustentável da empresa. Assim, a economia do meio ambiente vem auxiliar no controle da gestão ambiental, além de propiciar a inserção em um mercado promissor de consumidores conscientes.

Os fatores que contribuem para o elevado consumo de água nas indústrias/lavanderias têxteis estão associados ao crescimento da demanda comercial por jeans, no entanto, a alteração do perfil do consumidor, que buscam produtos que preservem o meio ambiente, pode vir a influenciar no aumento do volume de água reutilizada pelas empresas, de acordo com dados da UNESCO (2017). Pode-se notar também que as empresas de grande porte do polo têxtil pernambucano já estão visualizando esse diferencial de mercado, uma vez que, estão reutilizando mais a água em suas etapas de beneficiamento.

As indústrias/lavanderias têxteis possuem áreas que são destinadas ao tratamento dos resíduos gerados nas diferentes etapas de beneficiamento do jeans, que são conhecidas como destinadas para armazenamento do efluente que será reutilizado (Figura 3 A e B).

Buss et al. (2015) dizem que, os efluentes das indústrias/ lavanderias são, geralmente, alcalinos, altamente coloridos, com grandes quantidades de sabões e detergentes sintéticos, óleos e graxas, sujidades e corantes, apresentam uma Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO 2 a 5 vezes maior que a apresentada pelos esgotos domésticos, além de apresentarem elevada carga orgânica, uma baixa tensão superficial e uma quantidade significativa de sólidos suspensos.



**Figura 3** - Área destinado ao tratamento da água para reuso das lavanderias de pequeno (A) e médio porte (B). Retirada pela autora (2018).

No processo de beneficiamento de jeans as indústrias/lavanderias têxteis e tinturarias visitadas, constatou-se a concentração dos resíduos químicos, denominado como lodo têxtil. Trata-se de uma substância resultante do tratamento da água utilizada nos diversos processos químicos de lavagem do jeans, apresentando coloração azul dominante (Figuras 3A e B).

No entanto, como é possível observar nas Figuras 3 A e B, esse processo de tratamento gera quantidades consideráveis de lodo, que possui em sua constituição a presença de elementos químicos que são tóxicos e extremamente perigosos, pois se constituem em materiais ambientalmente persistentes (Zanela et al., 2010).

De acordo com Polli (2013), esse lodo gerado precisa ser destinado corretamente para que não venha a ser um causador de poluição para o ambiente. Visando sua valorização, como matéria prima secundária na produção de um material utilizável, com características que atendam os parâmetros exigidos na Lei e sem prejuízo ao ambiente, uma alternativa para esse lodo gerado seria a incorporação de até 15% na fabricação de blocos cerâmicos, sem a perda de suas qualidades essenciais.

Zanela et al. (2010) afirma que os efluentes apresentam elevada carga orgânica, alta concentração de sais e em muitos casos metais pesados, e forte coloração associada à presença de corantes residuais. Em geral, estima-se que 15 a 50% da carga de corantes presentes nos efluentes, são oriundas das etapas de descoloração com uso de permanganato de potássio, tingimento e lavagem, sendo que uma parcela importante se

mostra recalcitrante, ou seja, resistentes, frente a processos biológicos convencionais, mesmo utilizando rotinas anaeróbias-aeróbias sequenciais.

Para Silva et al. (2012), os resíduos sólidos gerados pelas indústrias/lavanderias têxteis são restos de tecidos, embalagens contaminadas com produtos químicos e o “lodo” resultante do tratamento da água, os quais deveriam ser levados para o aterro sanitário, para garantir a não contaminação. No entanto, pelo que se pode averiguar nas visitas as indústrias/lavanderias têxteis é que algumas relataram enviar o lodo para Recife e outras jogam em terrenos baldios ou lixões a céu aberto, ou mesmo no leito dos rios.

O processo de lavagem dos jeans tem como característica o uso de grande volume de água, após as peças ficarem prontas a lavagem é realizada e serve para amaciar e dar tonalidades diferentes ao tecido. Essa etapa consiste basicamente em jogar a peça em uma máquina de lavar, junto com objetos (pedras) ou produtos químicos que promovam o amaciamento da peça, bem como um leve desbotamento (Figura 4A).



**Figura 4-** Maquinam utilizadas para fazer a lavagem (A) e centrifugação (B) dos jeans nas industriais/lavanderias têxteis. Retirada pela autora (2018).

Posteriormente, as peças, são encaminhadas para a centrifugação e secam em máquinas (Figura 4B) ou dependendo do porte da empresa a secagem das peças também pode ser realizada através da energia solar.

Monteiro et al. (2019), ao estudarem aspectos econômico das indústrias de confecções de Toritama - PE afirmam que, algumas empresas, especificamente as de pequeno porte, operam com máquinas próprias durante uma ou duas semanas do mês e

no restante contratam serviços de empresas informais familiares, espalhadas pela cidade e pela área rural.

Com esta prática de terceirização que as empresas de pequeno e médio porte fazem as atividades produtivas são repassadas para empresas informais de lavagem. As indústrias/lavanderias têxteis pagam pelos serviços, e reduzem assim, outros custos de produção, como: energia elétrica, manutenção das máquinas, linha para costura, erros na produção, destinação dos resíduos gerados e direitos trabalhistas. No entanto, cabe destacar que algumas consideradas informais contribuem para a redução dos níveis de poluição, uma vez que estas agem de acordo com legislação vigente, reutilizando e evitando a deposição de resíduos nos solos e nos rios.

Brandão (2017) indica que, a terceirização tem sido praticada em Toritama - PE como uma forma de camuflar processos industriais, pois, consome e polui o meio ambiente, em atividades meios que teoricamente, só requerem força de trabalho para a sua execução. É importante, nesse momento, enfatizar que a atividade fim de uma empresa não deve ser terceirizada.

## ***5.2. Principais produtos químicos utilizados no beneficiamento do jeans***

Os principais produtos químicos utilizados nas indústrias/lavanderias de jeans são: cloro (CC), de permanganato de potássio (CPP), de metabissulfito de sódio (CMS), de amaciante (CA) e de metassilicato (CM) em (kg mês<sup>-1</sup>), de acordo com o porte das empresas, Tabela 7. Percebe-se que, o consumo de produtos químicos em kg mês<sup>-1</sup> aumenta gradativamente de indústrias/lavanderias têxteis de pequeno para médio e grande porte. Dentre os produtos de mais consumo destaca-se o Amaciante, que tem como componente principal o peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) na fase de amaciamento do jeans, seguido do consumo de cloro na fase de tingimento (Tabela 7).

O principal produto químico utilizado no processo de neutralizar o jeans é o metabissulfito sódio para fazer o polimento da peça juntamente com o permanganato de potássio, possuindo relação de banho: RB: 1/4. Para a neutralização, geralmente, se utiliza o metabissulfito sódio e seis litros de água (Tabela 7). Já na etapa de alvejamento, o metassilicato de sódio é o principal produto químico utilizado, usando em média 12g L<sup>-1</sup> e para este processo se utiliza 4 litros de água.

No amaciamento, etapa que se aplica o peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), final do processo de lavagem, com 18g L<sup>-1</sup> de amaciante e 3 litros de água (Tabela 7). O produto

comercial denominado Amaciante, principia ativo peróxido de hidrogênio é o mais utilizado pelas indústrias/lavanderias têxteis no agreste pernambucano.

**Tabela 7** - Consumo cloro (CC), de permanganato de potássio (CPP), de metabissulfito de sódio (CMS), de amaciante (CA) e de metassilicato (CM) em (kg mês<sup>-1</sup>) para as lavanderias analisadas de acordo com o porte. Elaborada pela autora (2019).

Porte das Lavanderias	Lavanderias	CC	CPP	CMS	CA	CM
		(kg mês <sup>-1</sup> ) Tingimento	(kg mês <sup>-1</sup> ) Descoloração	(kg mês <sup>-1</sup> ) Neutralização	(kg mês <sup>-1</sup> ) Amaciamento	(kg mês <sup>-1</sup> ) Alveijamento
Pequeno	S. C. Capibaribe - A	60	6	55	130	3
	S. C. Capibaribe - B	65	6	70	135	2
	S. C. Capibaribe - C	55	4	70	120	2
	Toritama - A	120	7	90	250	3
	Toritama - B	90	5	90	150	3
	Toritama - C	120	6	80	150	4
	Toritama - D	100	5	70	130	5
	Caruaru - A	85	7	90	160	5
	Caruaru - B	65	5	90	120	5
Medio	S. C. do Capibaribe - D	350	20	300	700	15
	Toritama - E	300	15	250	420	10
	Caruaru - C	320	17	310	550	11
	Caruaru - D	500	30	520	1150	20
	Caruaru - E	600	35	650	1200	23
Grande	Toritama - F	900	45	850	1400	35
	Toritama - G	1000	50	1000	2000	40
	Caruaru - F	800	45	710	1600	32

Na fase de tingimento, ocorre um elevado consumo de cloro porque após tingir a peça com o corante desejado, é necessário realizar o enxágue e na sequência, a oxidação com solução de hipoclorito de sódio (Tabela 7). Dentre as etapas de beneficiamento esta é a operação mais complexa, pois abrange um grande número de corantes e auxiliares de tingimento.

O metassilicato de sódio e o permanganato de potássio são os dois produtos químicos menos usados nas etapas de beneficiamento de jeans (Tabela 7). O permanganato de potássio é utilizado na etapa de descoloração do jeans/ Used, ou seja, na etapa que remove a coloração da peça.

As indústrias/lavanderias têxteis iniciam o processo de envelhecimento e desbotamento, com a aplicação do permanganato de potássio que é um agente oxidante e

ao entrar em contato com a peça acaba corroendo a cor do índigo causando um efeito esbranquiçado (Lopes, 2011).

De acordo com a Eletroquímica (2017), o permanganato de potássio é uma substância oxidante, que pode causar incêndios quando em contato com outros materiais, além disso, pode causar sérios problemas a saúde dos funcionários. Cabe salientar ainda que, quando dissolvido em solução aquosa pode, ser altamente poluente para a vida aquática. Além de ter em sua composição o metal manganês, que pode causar psicose, perda da expressão facial, ausência do ato de piscar, gagueira e insônia, tremores nas mãos, rigidez dos membros e outros sintomas similares à doença de Parkinson, podendo permanecer nos corpos hídricos por longos períodos de tempo (Teixeira, 2010).

Lopes (2011), afirma que outro produto já está disponível no mercado visando a substituição do permanganato de potássio, o chamado *used ecológico*, no entanto, as indústrias/lavanderias ainda não conseguiram fazer a substituição por completo.

A utilização de produtos ecológicos por indústrias/lavanderias têxteis possibilita a inutilização do hipoclorito de sódio. Nesse sentido, a utilização de produtos socioambientalmente corretos, podem trazer inúmeros benefícios para o meio ambiente e também diminuir o consumo de energia e água pelas empresas (Silva et al., 2012; Lopes, 2011; Polli, 2013).

Estas e outras medidas corretivas foram discutidas no Congresso da Associação Brasileira de Técnicos Têxteis em 2011, onde grandes marcas de jeans apresentaram suas tecnologias sustentáveis, como a utilização da marcação no jeans por laser que substitui o jato de areia, o permanganato de potássio e o esmeril. Outra técnica é o uso do ozônio, que reduz o consumo da água e a utilização de produtos químicos (SINDILAV, 2011).

### ***5.3. Pegada Hídrica cinza do beneficiamento do jeans***

Os valores obtidos para fração de lixiviação-escoamento de cada produto químico ( $\alpha$ ), número de aplicações de produtos ao ano (NA), concentração máxima admissível do poluente no meio aquático receptor ( $C_{max}$ ), concentração natural do poluente considerado no meio aquático receptor ( $C_{nat}$ ) e concentração do produto (CP) em cada etapa de beneficiamento do jeans estudadas, encontram-se na Tabela 8.

**Tabela 8** - Fração de lixiviação-escoamento de cada produto químico ( $\alpha$ ), número de aplicações de produtos ao ano (NA), Concentração máxima admissível do poluente no meio aquático receptor ( $C_{max}$ ) e Concentração natural do poluente considerado no meio aquático receptor ( $C_{nat}$ ) e Concentração do Produto (CP) em cada etapa de beneficiamento do jeans nas indústrias têxteis estudadas. Elaborada pela autora (2019).

<b>Etapas do Beneficiamento de Jeans</b>	<b>Produto Químico</b>	$\alpha$	<b>NA (mês)</b>	<b><math>C_{max}</math> (t m<sup>-3</sup>)</b>	<b><math>C_{nat}</math> (t m<sup>-3</sup>)</b>	<b>CP (g kg<sup>1</sup>)</b>
Descoloração	Permanganato de potássio	0,0050	12	0,0000016	0,000000	99,300
Alvejamento	Metassilicato de sódio	0,0100	12	0,0000600	0,000000	59,900
Neutralização	Metabissulfito de sódio	0,0050	12	0,0000400	0,000000	70,000
Amaciamento	Peroxido de hidrogênio	0,0020	12	0,0000005	0,000000	0,065
Tingimento	Hipoclorito de sódio	0,0500	12	0,0000010	0,000000	0,230

Os valores da fração de lixiviação-escoamento de cada produto químico são influenciados diretamente pelos coeficientes de partição do carbono ( $K_{oc}$ ), precipitação e intensidade de precipitação da região estudadas. Os valores, por sua vez, variam de 0,002 a 0,05, sendo o maior valor o do hipoclorito de sódio (0,05) (Tabela 8).

Isto ocorre porque o hipoclorito de sódio quando lixiviado envolve diferentes espécies, definidas em função do pH da água, sendo elas: o cloro gasoso ( $Cl_2$ ), o ácido hipocloroso ( $HOCl$ ) e o íon hipoclorito ( $OCl^-$ ), porém, dentre os oxidantes formados, o  $HOCl$  é o oxidante mais efetivo, pois é predominante no intervalo de pH em que se obtém alta velocidade de escoamento, além de não induzir a formação de cloro gasoso, altamente corrosivo (Hasab et al., 2012).

Observa-se ainda, que os valores de lixiviação-escoamento desses produtos são baixos ao serem comparados com pesticidas e metais normalmente, utilizados para outras finalidades como agricultura (Tabela 8). Indicando uma menor fixação de sua substância ativa com a matéria orgânica presente na água e no solo. Tal afirmação também pode ser justificada pelo baixo valor do seu coeficiente de partição do carbono, inferior a  $50 \text{ L kg}^{-1}$  em relação a outros produtos químicos, como aqueles para utilização na agricultura, que são potencialmente poluidores para o meio ambiente (Carbo et al., 2008).

Arias Estévez (2008), afirma que os poluentes químicos que possuem um  $K_{oc}$  baixo, com baixa tendência a adsorver, ou seja, fixa na matéria orgânica, pode facilmente

alcançar os corpos de água e, portanto, ter maior mobilidade e alta solubilidade, tendo, desta forma, maior probabilidade de contaminação das águas (Froehner & Martins, 2008).

Essa fração de lixiviação/escoamento diz respeito à porcentagem do produto químico que é perdida para o solo, devido à lixiviação, e para as águas superficiais por causa do escoamento superficial (Franke et al., 2013). Além disso, a fração de lixiviação/escoamento de cada produto químico ( $\alpha$ ) varia em função das características químicas do produto e fatores ambientais.

O número de aplicações ao ano dos produtos químicos nas indústrias/lavanderias têxteis foi estabelecido com base nas entrevistas, uma vez que, os responsáveis pelas lavanderias informaram que aplicavam várias vezes durante o mês, porém não souberam explicar quantas vezes, assim, estabeleceu-se que cada produto deveria ser aplicado uma vez ao mês e estipulou-se também para o ano (Tabela 8), com base na quantidade total de cada produto aplicado durante o mês.

Esse número de aplicações é elevado e depende do número de lotes de produção, muitas vezes diários, o que faz com que não se tenha um controle da quantidade certa de vezes que se aplicou, tão pouco do volume aplicado (Silva et al., 2012). O que se observou na visita para obtenção dos dados foi que a grande maioria dos entrevistados, em alguns casos empresários e outros funcionários destinados a recepção, sentiam-se receosos em informar a quantidade e o volume de produto químico aplicado em suas etapas de beneficiamento, o que pode estar atrelado ao fato de estarem aplicando mais produtos do que o recomendado pelos órgãos de fiscalização.

Já as concentrações máximas admissíveis do poluente no meio aquático receptor ( $C_{max}$ ) e concentração natural do poluente considerado no meio aquático receptor ( $C_{nat}$ ) vieram dos órgãos responsáveis pela fiscalização e elaboração de normas dos produtos químicos tanto no Brasil quanto no exterior (Tabela 8). De acordo com Franke et al. (2013), estas normas estão atualizadas e são cientificamente confiáveis para utilização no cálculo de pegada hídrica cinza.

Para Hoekstra et al. (2011) a concentração natural dos produtos químicos num corpo de água receptor ( $c_{nat}$ ) é igual à concentração que ocorreria caso não houvesse intervenção antrópica nas bacias hidrográficas. Deste modo, o motivo pelo qual se usa no cálculo a concentração natural em vez da concentração atual, é o fato da pegada hídrica cinza ser um indicador da capacidade de assimilação apropriada.

Além disso, se fosse utilizada a concentração atual do corpo de água receptor, um corpo de água que já se encontra altamente poluído iria conter uma pegada hídrica cinza

muito pequena comparado a outro corpo de água que não esteja tão poluído, o que não reflete adequadamente o impacto do processo a ser avaliado (Zarete, 2010).

É relevante destacar que, a definição da concentração natural dos indicadores nos corpos hídricos é considerada problemática pela dificuldade em identificar o estado natural dos corpos de água e a não disponibilidade de dados de monitoramento da qualidade de água em sequências históricas. Nesse sentido, a primeira questão se refere a definição do que é a composição natural de um corpo de água, já que grande parte das fontes de água sofreram impacto antrópico e, assim, não representam mais as suas condições naturais. Por outro lado, o monitoramento da qualidade da água dos corpos hídricos é uma prática recente, principalmente em países em desenvolvimento, ocorrendo pouca ou nenhuma disponibilidade de dados sobre tais questões (Empinotti et al., 2013).

A concentração da substância ativa do produto (CP) foi obtida na bula de cada produto químico utilizado em cada fase do beneficiamento do jeans. Vê-se que o permanganato de potássio é o produto que possui a maior concentração da substância ativa, enquanto o peróxido de hidrogênio possui a menor concentração (Tabela 8). Verifica-se também que o permanganato de potássio juntamente com o metabisulfato de sódio são os dois produtos químicos com maior concentração da substância ativa em  $\text{kg}^{-1}$ , seguido do metassilicato de sódio (Tabela 8).

A presença de substâncias ativas detectadas em águas superficiais indica que elas são capazes de persistir no ambiente por determinado período de tempo, em especial o permanganato de potássio que possui o metal manganês. Tal fato chama a atenção para a necessidade de implementações de programas de monitoramento em ecossistemas aquáticos, em especial, os destinados ao abastecimento humano (Queiroz et al., 2011).

Tavella et al. (2011) enfatizam que, a poluição dos corpos hídricos causada pelo uso indiscriminado desses produtos químicos nas indústrias/lavanderias têxteis é agravada pela permanência por um longo período de tempo e em grandes quantidades. Portanto, devem ser tomadas precauções quanto à sua aplicação, resíduos das mais diversas fontes e disposição final adequada, sem comprometer o meio ambiente.

Luongo et al. (2015) e Gwozdz et al. (2017) afirmam que, as concentrações de produtos químicos de processamento restantes nas roupas diminuem lentamente através da lavagem, sugerindo uma liberação lenta de produtos químicos ao longo da fase de uso.

Nesse sentido, a determinação da pegada hídrica cinza de produtos químicos utilizados nas lavanderias têxteis é fundamental para que seja definido o volume de água

doce necessária para assimilar a carga de poluentes baseado nas concentrações naturais e padrões de qualidade de água existentes (Hoesktra et al., 2011).

A pegada hídrica cinza das indústrias/lavanderias têxteis da região agreste do Estado de Pernambuco, levando em consideração o porte das empresas, as fases de beneficiamento de jeans e os produtos químicos utilizados em cada fase, encontram-se nas Tabelas 9 e 10. Essa Pegada Hídrica Cinza - PHC foi calculada levando em consideração os poluentes mais críticos, ou seja, o poluente que produz os maiores volumes de água poluída (Muller, 2012).

Diante disto, neste estudo foi observado que o produto químico metabissulfito de sódio foi o que exibiu maior taxa de aplicação (TAS), tendo um valor médio de  $261 \text{ t ano}^{-1}$ , identificou-se também que à medida que aumentava o porte das indústrias/lavanderias têxteis houve incremento na taxa de aplicação, ou seja, quanto maior o porte da lavanderia mais o metabissulfito de sódio foi utilizado na fase de neutralização (Tabela 9 e 10).

Essa fase de beneficiamento de jeans nas indústrias/lavanderias têxteis tem por objetivo neutralizar processos com a utilização de cloro e permanganato de potássio, sendo aplicado principalmente após o desbotamento, o American Jet, o Used, o Pinado e o Tanque (Lopes, 2011).

Os produtos químicos utilizados nas indústrias/lavanderias têxteis que apresentaram menores valores de TAS, foram o peróxido de hidrogênio e o hipoclorito de sódio, nas fases de amaciamento e tingimento, com resultados médios de 0,449 e  $0.898 \text{ t ano}^{-1}$ , respectivamente (Tabela 9 e 10). Apesar de possuírem um consumo elevado, suas taxas de aplicação são baixas, em função da concentração do produto ser baixa.

A taxa de aplicação da substância (TAS) foi elevada para o metabissulfito de sódio quando comparado ao peróxido de hidrogênio, metassilicato de sódio, hipoclorito de sódio permanganato de potássio, fato observado em decorrência da taxa de aplicação do produto comercial ( $\text{TACP kg mês}^{-1}$ ) e da concentração do produto ( $\text{CP g kg}^{-1}$ ) ser elevadas (Tabelas 9 e 10). Cabe esclarecer que, a TAS é de suma importância para determinação da carga poluente nos corpos hídricos.

**Tabela 9** - Pegada hídrica Cinza das etapas de beneficiamento de jeans de lavanderias de pequeno porte dos municípios de Santa Cruz do Capibaribe, Caruaru e Toritama agreste pernambucano. Elaborado pela autora (2019).

Porte das Lavanderias	Lavanderias	Etapas do Beneficiamento de Jeans	Produto Químico	TACP kg mes <sup>-1</sup>	TAS t ano <sup>-1</sup>	L t ano <sup>-1</sup>	PHC m <sup>3</sup>	PHC m <sup>3</sup> kg <sup>-1</sup>
Pequeno	S. C. do Capibaribe - A	Descoloração	Permanganato de potássio	6,000	7,150	0,036	21797,561	0,658
		Alvejamento	Metassilicato de sódio	3,000	2,156	0,022	359,400	0,011
		Neutralização	Metabissulfito de sódio	55,000	46,200	0,231	5775,000	0,174
		Amaciamento	Peroxido de hidrogênio	130,000	0,101	0,002	4506,667	0,014
		Tingimento	Hipoclorito de sódio	60,000	0,166	0,008	8280,000	0,250
	S. C. do Capibaribe - B	Descoloração	Permanganato de potássio	6,000	7,150	0,036	21797,561	0,571
		Alvejamento	Metassilicato de sódio	2,000	1,438	0,014	239,600	0,006
		Neutralização	Metabissulfito de sódio	70,000	58,800	0,294	7350,000	0,193
		Amaciamento	Peroxido de hidrogênio	135,000	0,105	0,002	4680,000	0,012
		Tingimento	Hipoclorito de sódio	65,000	0,179	0,009	8970,000	0,235
	S. C. do Capibaribe - C	Descoloração	Permanganato de potássio	4,000	4,766	0,024	14531,707	0,404
		Alvejamento	Metassilicato de sódio	2,000	1,438	0,014	239,600	0,007
		Neutralização	Metabissulfito de sódio	70,000	58,800	0,294	7350,000	0,204
		Amaciamento	Peroxido de hidrogênio	120,000	0,094	0,002	4160,000	0,012
		Tingimento	Hipoclorito de sódio	55,000	0,152	0,008	7590,000	0,211
Toritama - A	Descoloração	Permanganato de potássio	7,000	8,341	0,042	25430,488	0,442	
	Alvejamento	Metassilicato de sódio	3,000	2,156	0,022	359,400	0,006	
	Neutralização	Metabissulfito de sódio	90,000	75,600	0,378	9450,000	0,164	
	Amaciamento	Peroxido de hidrogênio	250,000	0,195	0,004	8666,667	0,015	
	Tingimento	Hipoclorito de sódio	120,000	0,331	0,017	16560,000	0,288	
Toritama - B	Descoloração	Permanganato de potássio	5,000	5,958	0,030	18164,634	0,451	
	Alvejamento	Metassilicato de sódio	3,000	2,156	0,022	359,400	0,009	
	Neutralização	Metabissulfito de sódio	90,000	75,600	0,378	9450,000	0,234	

	Amaciamento	Peroxido de hidrogênio	150,000	0,117	0,002	5200,000	0,013
	Tingimento	Hipoclorito de sódio	90,000	0,248	0,012	12420,000	0,308
Toritama - C	Descoloração	Permanganato de potássio	6,000	7,150	0,036	21797,561	0,466
	Alvejamento	Metassilicato de sódio	4,000	2,875	0,029	479,200	0,010
	Neutralização	Metabissulfito de sódio	80,000	67,200	0,336	8400,000	0,179
	Amaciamento	Peroxido de hidrogênio	150,000	0,117	0,002	5200,000	0,011
	Tingimento	Hipoclorito de sódio	120,000	0,331	0,017	16560,000	0,354
Toritama - D	Descoloração	Permanganato de potássio	5,000	5,958	0,030	18164,634	0,420
	Alvejamento	Metassilicato de sódio	5,000	3,594	0,036	599,000	0,014
	Neutralização	Metabissulfito de sódio	70,000	58,800	0,294	7350,000	0,170
	Amaciamento	Peroxido de hidrogênio	130,000	0,101	0,002	4506,667	0,010
	Tingimento	Hipoclorito de sódio	100,000	0,276	0,014	13800,000	0,319
Caruaru - A	Descoloração	Permanganato de potássio	7,000	8,341	0,042	25430,488	0,589
	Alvejamento	Metassilicato de sódio	5,000	3,594	0,036	599,000	0,014
	Neutralização	Metabissulfito de sódio	90,000	75,600	0,378	9450,000	0,219
	Amaciamento	Peroxido de hidrogênio	160,000	0,125	0,002	5546,667	0,013
	Tingimento	Hipoclorito de sódio	85,000	0,235	0,012	11730,000	0,272
Caruaru - B	Descoloração	Permanganato de potássio	5,000	5,958	0,030	18164,634	0,573
	Alvejamento	Metassilicato de sódio	5,000	3,594	0,036	599,000	0,019
	Neutralização	Metabissulfito de sódio	90,000	75,600	0,378	9450,000	0,298
	Amaciamento	Peroxido de hidrogênio	120,000	0,094	0,002	4160,000	0,013
	Tingimento	Hipoclorito de sódio	65,000	0,179	0,009	8970,000	0,283

TACP - Taxa de Aplicação Comercial do Produto; TAS – Taxa de Aplicação da Substância; L – Carga poluente da substância; PHC – Pegada hídrica cinza.

As maiores cargas de poluentes das substâncias ( $L$ ,  $t \text{ ano}^{-1}$ ), foram identificadas para a fase de neutralização do jeans com a utilização do metabissulfito de sódio, fato que esta associada a maior taxa de aplicação da substância (Tabelas 9 e 10). Destaca-se ainda, que a assimilação da carga de poluentes que chega até o corpo receptor é feita pela água

azul, disponível nos rios, portanto há uma relação direta entre a quantidade de água poluída e a quantidade necessária para diluir essa poluição, possibilitando uma análise da sustentabilidade dessa pegada hídrica (Mekonnen & Hoekstra, 2018).

Independente do porte da lavanderia têxtil, a fase de descoloração do jeans com a utilização do permanganato de potássio, seguida da fase de tingimento com o uso do hipoclorito de sódio juntamente com corantes, são as fases de maior pegada hídrica cinza (Tabelas 9 e 10).

Dentre as indústrias/lavanderias têxteis de pequeno porte estudadas, a que apresentou maior pegada hídrica cinza para a fase de descoloração com a utilização do permanganato de potássio foi a Santa Cruz do Capiberibe “A”, correspondendo a uma PHC de  $0,658 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$  de jeans beneficiado, já a Toritama “C” foi a que evidenciou a maior pegada hídrica cinza para a fase de tingimento (hipoclorito de sódio) com  $0,354 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$  de jeans beneficiado (Tabelas 9).

A maior PHC na fase de descoloração da empresa Santa Cruz do Capiberibe “A” possivelmente, está associada ao consumo de  $72 \text{ kg ano}^{-1}$  de permanganato de potássio com uma produção de 132, 48 kg de peças ao ano e um consumo de água bruta de  $2.592 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ . Toritama “C” consome  $1.440 \text{ kg ano}^{-1}$  de hipoclorito de sódio com uma produção de 187, 20 kg de peças ao ano e um consumo de água bruta em torno de  $3.120 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ .

Ao analisar as indústrias/lavanderias têxteis de pequeno porte quanto as menores PHC, observou-se que Santa Cruz do Capibaribe “C” apresentou menor pegada hídrica cinza para a descoloração ( $0,404 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$  de jeans beneficiado) e ( $0,211 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$  de jeans beneficiado) para o hipoclorito de sódio na fase de tingimento (Tabela 9). Ressalta-se que na fase de tingimento foi considerado apenas o produto químico hipoclorito de sódio, pois nas visitas não foram disponibilizadas informações a respeito dos demais produtos químicos utilizados nessa fase, tais como: corantes sejam eles naturais ou artificiais.

A empresa visitada em Santa Cruz do Capibaribe que obteve menor PHC, possui menor consumo bruto de água entre as empresa de pequeno porte, correspondendo a ( $1.728,00 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ ) e uma produção de  $72000,00 \text{ peças ano}^{-1}$ , além de seu consumo de permanganato de potássio e hipoclorito de sódio usados para descoloração e tingimento, respectivamente, serem inferiores a quantidade utilizada pelas demais lavanderias desse porte, possivelmente, isso acabou contribuindo para os menores valores verificados de pegada hídrica cinza.

Deste total de produtos químicos utilizados nas indústrias/lavanderias têxteis cerca de 90% são descartados após cumprirem o seu papel no processo de beneficiamento e acabam por atingir os recursos hídricos (Silva et al., 2012).

Os processos de produção têxtil utilizam grande quantidade e variedade de produtos químicos, sendo que o uso de corantes sejam eles naturais e/ou sintéticos, permanganato de potássio e hipoclorito de sódio, são considerados importantes fontes de produtos químicos de uso na produção têxtil (Kant, 2012).

Além disso, muitos químicos são aplicados nas etapas de acabamento para adicionar certas propriedades, como repelentes à água e sujeira das roupas para uso ao ar livre, aditivos antirrugas ou endurecimento e biocidas para reduzir odores induzidos por bactérias ou crescimento de fungos durante o transporte e o armazenamento (ECHA, 2019). Essas informações estão de acordo com as apresentadas no presente estudo, visto que foi observada uma gama de produtos químicos utilizados nas fases de beneficiamento do processo têxtil nas lavanderias.

Observando as indústrias/lavanderias têxteis de médio porte, foi possível identificar que a empresa Toritama “E”, teve maior pegada hídrica cinza para a fase de descoloração, correspondendo a  $0,420 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$  de jeans beneficiado e maior PHC para a fase de tingimento com a utilização do hipoclorito de sódio com valor de  $0,319 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$  de jeans beneficiado (Tabela 10).

Esse fato é constatado, mesmo Toritama “E” tendo consumido menos hipoclorito de sódio e permanganato de potássio do que as demais indústrias/lavanderias têxteis de médio porte, no entanto, em decorrência de sua menor produção de peças ao ano, obteve maior pegada hídrica cinza quando comparada as demais empresas de médio porte.

A indústria/lavanderia têxtil Caruaru “D” classificada como de médio porte evidenciou os menores valores de pegada hídrica cinza na fase de descoloração ( $0,344 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$  de jeans beneficiado) e tingimento ( $0,218 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$  de jeans beneficiado) (Tabela 10). Essa empresa possui um dos menores consumos de água bruta das empresas desse porte, mas, tem a segunda maior produção em peças anualmente, e uma taxa de reuso superior a 50%, o que contribui de forma relevante para os menores valores observados de PHC.

**Tabela 10** - Pegada hídrica Cinza das etapas de beneficiamento de jeans de lavanderias de médio porte dos municípios de Santa Cruz do Capibaribe, Caruaru e Toritama agreste pernambucano. Elaborada pela autora (2019).

Porte das Lavanderias	Lavanderias	Etapas do Beneficiamento de Jeans	Produto Químico	TACP kg mes <sup>-1</sup>	TAS t ano <sup>-1</sup>	L t ano <sup>-1</sup>	PHC m <sup>3</sup>	PHC m <sup>3</sup> kg <sup>-1</sup>
S. C. do Capibaribe - D		Descoloração	Permanganato de potássio	20,000	23,832	0,119	72658,537	0,388
		Alvejamento	Metassilicato de sódio	15,000	10,782	0,108	1797,000	0,010
		Neutralização	Metabissulfito de sódio	300,000	252,000	1,260	31500,000	0,168
		Amaciamento	Peroxido de hidrogênio	700,000	0,546	0,011	24266,667	0,013
		Tingimento	Hipoclorito de sódio	350,000	0,966	0,048	48300,000	0,258
Toritama - E		Descoloração	Permanganato de potássio	15,000	17,874	0,089	54493,902	0,420
		Alvejamento	Metassilicato de sódio	10,000	7,188	0,072	1198,000	0,009
		Neutralização	Metabissulfito de sódio	250,000	210,000	1,050	26250,000	0,203
		Amaciamento	Peroxido de hidrogênio	420,000	0,328	0,007	14560,000	0,011
		Tingimento	Hipoclorito de sódio	300,000	0,828	0,041	41400,000	0,319
Medio Caruaru - C		Descoloração	Permanganato de potássio	17,000	20,257	0,101	61759,756	0,357
		Alvejamento	Metassilicato de sódio	11,000	7,907	0,079	1317,800	0,008
		Neutralização	Metabissulfito de sódio	310,000	260,400	1,302	32550,000	0,188
		Amaciamento	Peroxido de hidrogênio	550,000	0,429	0,009	19066,667	0,011
		Tingimento	Hipoclorito de sódio	320,000	0,883	0,044	44160,000	0,256
Caruaru - D		Descoloração	Permanganato de potássio	30,000	35,748	0,179	108987,805	0,344
		Alvejamento	Metassilicato de sódio	20,000	14,376	0,144	2396,000	0,008
		Neutralização	Metabissulfito de sódio	520,000	436,800	2,184	54600,000	0,172
		Amaciamento	Peroxido de hidrogênio	1150,000	0,897	0,018	39866,667	0,013
		Tingimento	Hipoclorito de sódio	500,000	1,380	0,069	69000,000	0,218
Caruaru - E		Descoloração	Permanganato de potássio	35,000	41,706	0,209	127152,439	0,353
		Alvejamento	Metassilicato de sódio	23,000	16,532	0,165	2755,400	0,008
		Neutralização	Metabissulfito de sódio	650,000	546,000	2,730	68250,000	0,190

	Amaciamento	Peroxido de hidrogênio	1200,000	0,936	0,019	41600,000	0,012
	Tingimento	Hipoclorito de sódio	600,000	1,656	0,083	82800,000	0,230
	Descoloração	Permanganato de potássio	45,000	53,622	0,268	163481,707	0,355
	Alveamento	Metassilicato de sódio	35,000	25,158	0,252	4193,000	0,009
Toritama - F	Neutralização	Metabissulfito de sódio	850,000	714,000	3,570	89250,000	0,194
	Amaciamento	Peroxido de hidrogênio	1400,000	1,092	0,022	48533,333	0,011
	Tingimento	Hipoclorito de sódio	900,000	2,484	0,124	124200,000	0,270
	Descoloração	Permanganato de potássio	50,000	59,580	0,298	181646,341	0,315
	Alveamento	Metassilicato de sódio	40,000	28,752	0,288	4792,000	0,008
Grande Toritama - G	Neutralização	Metabissulfito de sódio	1000,000	840,000	4,200	105000,000	0,182
	Amaciamento	Peroxido de hidrogênio	2000,000	1,560	0,031	69333,333	0,012
	Tingimento	Hipoclorito de sódio	1000,000	2,760	0,138	138000,000	0,240
	Descoloração	Permanganato de potássio	45,000	53,622	0,268	163481,707	0,378
	Alveamento	Metassilicato de sódio	32,000	23,002	0,230	3833,600	0,009
Caruaru - F	Neutralização	Metabissulfito de sódio	710,000	596,400	2,982	74550,000	0,173
	Amaciamento	Peroxido de hidrogênio	1600,000	1,248	0,025	55466,667	0,013
	Tingimento	Hipoclorito de sódio	800,000	2,208	0,110	110400,000	0,388

TACP - Taxa de Aplicação Comercial do Produto; TAS – Taxa de Aplicação da Substância; L – Carga poluente da substância; PHC – Pegada hídrica cinza.

Brito (2013), ao estudar a sustentabilidade como desafio para indústrias/lavanderias têxteis constatou que essa atividade além de consumir muita água, após o processo de beneficiamento das peças lança resíduos químicos no meio ambiente. Em função disso, essa prática requer muita cautela pelo seu potencial poluidor, o que se justifica, cada vez mais, a necessidade de pesquisas sobre o reuso da água e a pegada hídrica, como mecanismo auxiliar para a sustentabilidade do processo industrial.

Para as empresas de grande porte constatou-se que Caruaru “F”, teve a maior pegada hídrica cinza na fase de descoloração com valor de 0,378 m<sup>3</sup> kg<sup>-1</sup> de jeans beneficiado, bem como maior pegada hídrica cinza para a fase de tingimento (Hipoclorito de sódio), correspondendo a 0,388 m<sup>3</sup> kg<sup>-1</sup> de jeans beneficiado. É importante dizer que,

essa indústria/lavanderia têxtil evidenciou maior PHC em relação ao permanganato de potássio em comparação com as empresas de pequeno e médio porte (Tabela 10).

Wang et al. (2013) analisando a pegada hídrica azul e cinza da indústria/lavanderia têxtil na China, observaram que a fase de tingimento de jeans foi considerada a mais poluente entre as demais fases, no entanto, estes autores relatam que cada tecido tem uma característica típica específica que deve ser considerada. Esse resultado condiz com o observado para o presente estudo na empresa Caruaru “F”.

Dentre as empresas classificadas como de grande porte a indústria/lavanderia têxtil Toritama “G” possui a menor PHC na fase de descoloração ( $0,315 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$  de jeans beneficiado) e tingimento ( $0,240 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$  de jeans beneficiado) (Tabela 10). Esse fato, possivelmente, está atrelado a sua maior produção anual, correspondendo a 1.152.000,00 peças ano<sup>-1</sup>, além de possuir uma taxa de reuso da água superior a 80%.

De acordo com Fletcher & Grose (2011) a fase de tingimento consiste em um dos sistemas convencionais que mais causam impactos ambientais devido à toxicidade das substâncias envolvidas e por se tratar de um processo linear, com a entrada e o processamento de recursos, e a eliminação de resíduos no meio ambiente.

Estima-se que cerca de 20% da poluição mundial da água seja causada pelo tingimento e acabamento de têxteis (Kant, 2012). A descarga de águas residuais poluídas pode afetar a saúde dos trabalhadores e das comunidades locais que usam corpos d'água afetados para beber, pescar e tomar banho (Ellen MacArthur Foundation, 2017). Esse fato se aproxima dessa, pesquisa, pois, grande parte da poluição causada ao corpo hídrico da região do Agreste Pernambucano está ligada ao beneficiamento do jeans, principalmente, os produtos utilizados nas fases de descoloração e tingimento (Tabelas 9 e 10).

Samanta et al. (2016) esclarecem que, os produtos químicos utilizados no processamento têxtil são soda cáustica, ácido, hipoclorito de sódio, material de colagem, removedores de manchas (tetracloro de carbono) e corantes não fixados. Esses produtos químicos têxteis e auxiliares possuem sólidos em suspensão e produzem uma quantidade significativa de efluente com alta demanda biológica de oxigênio e demanda química de oxigênio (DQO), o que reflete em elevada pegada hídrica.

Para Hossain (2017), a quantidade de água utilizada na lavagem, descoloração, tingimento e acabamento de tecidos é de 58,9% do total utilizado, enquanto a pegada hídrica no tingimento de fios 26,9% da pegada hídrica total na indústria têxtil. O autor afirma ainda, que a maior pegada hídrica para tecidos de algodão é observada nas etapas de lavagem, tingimento e acabamento de tecidos.

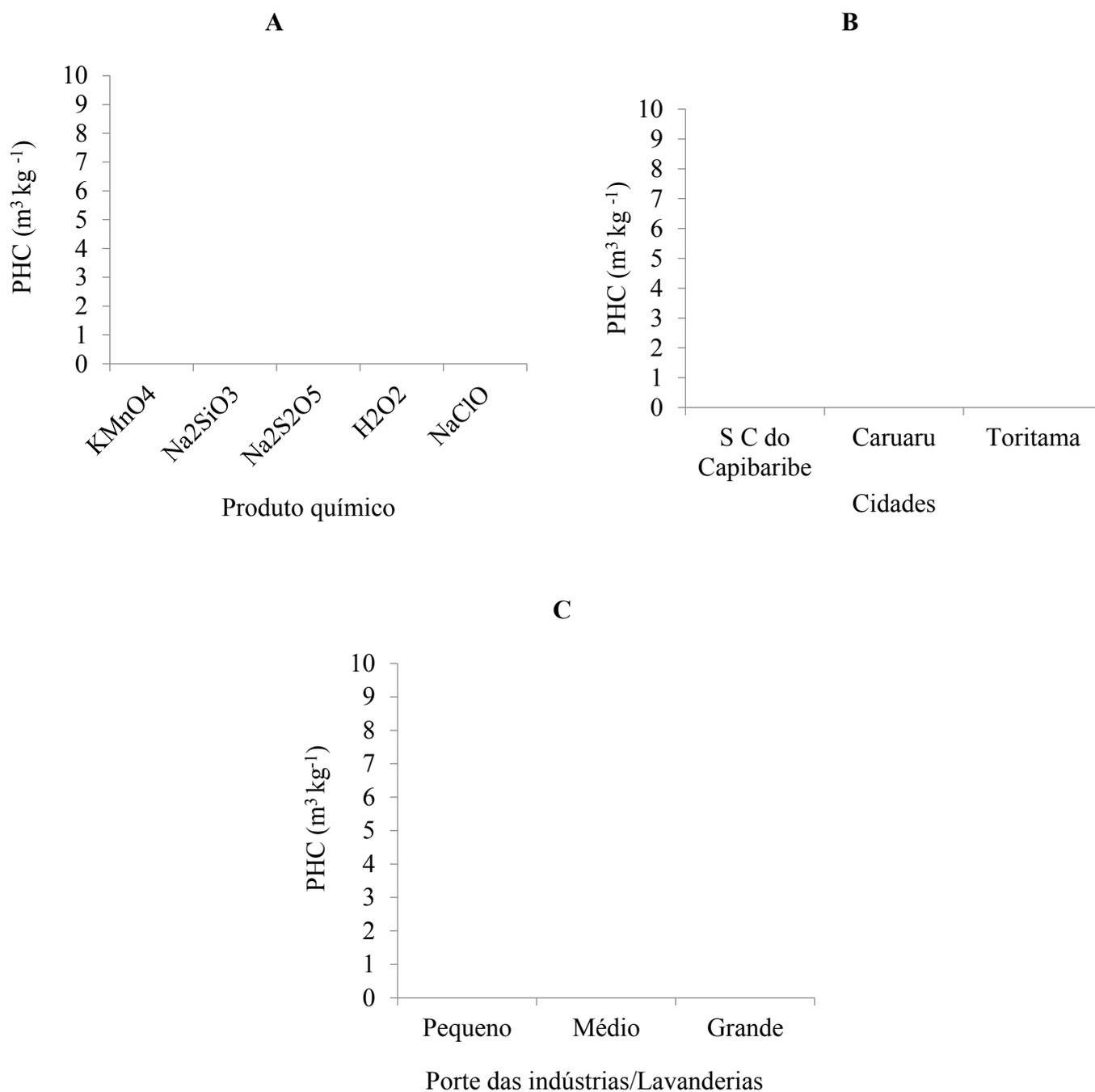
Van der Putte et al. (2013) reforçam que, muitas dessas substâncias químicas utilizadas no processo de beneficiamento de jeans pelas indústrias/lavanderias têxteis, além de serem danosas ao meio ambiente, necessitando de grandes volumes de água para compensar o aporte, elas também são prejudiciais à saúde dos trabalhadores, os produtos podem permanecer intencionalmente ou involuntariamente, nos produtos têxteis finais e assim, impactarem na saúde dos consumidores.

A pegada hídrica cinza de indústrias/lavanderias têxteis de beneficiamento de jeans por produto químico/ fase de beneficiamento, por cidade estudada e por porte das empresas no agreste pernambucano, encontra-se na (Figura 5).

Verifica-se que o produto químico permanganato de potássio ( $\text{KMnO}_4$ ) na fase de descoloração do jeans/ Used é o que necessita da maior quantidade de água doce para sua diluição, ou seja, possui maior pegada hídrica cinza (Figura 5A). Apresentando valor de  $7,49 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$  de jeans beneficiado que corresponde a  $3,74 \text{ m}^3$  por peça, seguido do hipoclorito de sódio com  $4,56 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$  de jeans beneficiado ( $2,28 \text{ m}^3$  por peça), na fase de tingimento e do metabissulfito de sódio na fase de neutralização com  $3,31 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$  de jeans beneficiado ( $1,65 \text{ m}^3$  por peça) (Figura 5A).

JeansWear (2019) ao pesquisar a pegada hídrica global do algodão do plantio até a lavagem pelo consumidor final constatou que o consumo médio é de 5196 litros de água por calça jeans no Brasil, o volume total consumido por uma calça jeans corresponde a 41% água verde, 11% água azul e 48% água cinza (2495 litros por peça de jeans). Resultado inferior ao encontrado no presente estudo, visto que se obteve uma pegada hídrica cinza de 3740 litros por peça de jeans beneficiada. Essa diferença está atrelada as práticas adotadas e aos produtos químicos utilizados nas diferentes indústrias/lavanderias têxteis nas diferentes regiões do país. Algumas regiões já utilizam de práticas que substituem o permanganato de potássio e o hipoclorito de sódio.

Mekonnen & Hoekstra (2011) afirmam que em média, são necessários quase 10.000 litros de água para produzir um quilograma de tecido de algodão, o que significa que são necessários cerca de 8.000 litros para um par de jeans de algodão, equivalente a 50 banheiras de água (Safaya et al., 2016). Estes valores estão próximos aos obtidos no presente estudo, que levaram em consideração apenas as fases de beneficiamento.



**Figura 5** - Total da pegada hídrica cinza de indústrias/lavanderias têxteis de beneficiamento de jeans por produto químico e fase de beneficiamento (A), por município estudado (B) e por porte (C) no agreste Pernambucano. Elaborada pela autora (2019).

As empresas consideradas potencias no ramo têxteis, já incorporam em seu processo alternativas, como a máquina de ozônio que contribui de forma significativa para reduzir o consumo de água, uma vez que, a peça não necessita estar imersa. Cabendo frisar, que com relação aos produtos químicos e os corantes, por mais que a indústria esteja procurando e lançando produtos que tornem os processos menos poluidores, eles

ainda se encontram em fase inicial, alguns em fase de teste e por isso é difícil precisar a dimensão de suas melhorias (Polli, 2013).

Wang et al. (2013) dizem que a fase de tingimento possui a maior pegada hídrica cinza, seguido de branqueamento, lavagem e secagem. Em particular, esses processos representam mais de 95% da pegada hídrica dos tecidos. Divergindo dos dados dessa pesquisa, pois a fase de descoloração do jeans com a utilização do permanganato de potássio foi a que evidenciou maior pegada hídrica cinza, seguida da fase de tingimento.

Chico et al. (2013) ao investigarem a pegada hídrica total (verde, azul e cinza) de calças produzidas a partir do algodão e tecidos à base de madeira, identificaram que o estágio de cultivo é o que possui maior pegada hídrica, enquanto o consumo de água doce e a poluição durante o estágio de fabricação diferem com base no tipo de tecido e no método de processamento, no tipo de químico utilizado e suas características. No entanto, os jeans à base de madeira possuem uma pegada hídrica total de  $1.454\text{m}^3$  por unidade, eles consomem menos água do que os jeans a base de algodão que possuem uma PH de  $3.233\text{m}^3$  por unidade. Esses valores elevados em comparação aos obtidos no presente estudo se devem ao fato de terem calculado a pegada hídrica total (azul, verde e cinza) desde o cultivo do algodão ou madeira até a fase final de beneficiamento.

Além disso, Joa et al. (2014) desenvolveram uma nova abordagem para a contabilidade corporativa da pegada hídrica, incluindo o desempenho relacionado à água de diferentes fornecedores, que foi implementado em uma cadeia global de tecidos de algodão e viram que, embora a etapa de matérias-primas seja responsável pela maior parte da pegada hídrica cinza, a fabricação também é considerada um fator crítico para o uso total de água.

A determinação da pegada hídrica das indústrias/lavanderias têxteis tem como objetivo principal reduzir o impacto ambiental da indústria da moda e promover a transparência no setor, unindo os principais players em prol da criação de indicadores brasileiros na gestão sustentável da água (JeansWear, 2019).

Quando se analisou a pegada hídrica cinza por cidade observou-se que Toritama e Caruaru são as que possuem as maiores, correspondendo a  $5,68$  e  $5,48\text{ m}^3\text{ kg}^{-1}$  de jeans beneficiado (Figura 5B). Já a cidade de Santa Cruz do Capibaribe possui a menor pegada hídrica cinza das três cidades com  $3,79\text{ m}^3\text{ kg}^{-1}$  de jeans beneficiado (Figura 5B).

A cidade de Santa Cruz do Capibaribe possui um maior número de lavanderias de pequeno porte, o que justifica ser a menor pegada hídrica entre as três cidades estudadas, uma vez que, as lavanderias de pequeno porte possuem menor quantidade de peças

beneficiadas, menor consumo bruto de água e conseqüentemente menor utilização de permanganato de potássio, metassilicato de sódio, metabissulfito de sódio, peróxido de hidrogênio e hipoclorito de sódio.

A pegada hídrica cinza considerando o porte das indústrias/lavanderias têxteis evidenciou que as empresas de pequeno porte possuem maior PHC ( $9,13 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$  de jeans beneficiado), seguidas das de médio e grande porte ( $4,16$  e  $2,43 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$  de jeans beneficiado), respectivamente, (Figura 5C).

A maior pegada hídrica cinza constatada nas empresas de pequeno porte, se deve ao fato de 52,9% das indústrias/lavanderias têxteis serem deste porte, e por mais que utilizem pouca quantidade de químicos quando comparadas as empresas de médio e grande porte, estão em maiores quantidades, assim, possuem uma pegada hídrica cinza superior as de médio porte que corresponde a 29,4% e as de grande correspondem a 17,6% das lavanderias estudadas (Figura 5C).

Cabe ainda salientar que as empresas de médio e grande porte possuem menor pegada hídrica, pois possuem mais condições para reutilizar a água, e produzem mais peças, assim os valores de pegada hídrica cinza acabam sendo diluídos.

Viana et al. (2018) ao analisarem a pegada hídrica em indústria de beneficiamento de jeans no Agreste Pernambucano, verificaram que as empresas de pequeno porte, possuem uma pegada hídrica total do beneficiamento de  $60 \text{ L peça}^{-1}$ . Valor inferior ao obtido pelas lavanderias de pequeno porte no presente estudo ( $4560 \text{ L peça}^{-1}$ ). Isso pode ser explicado porque no estudo de Viana et al. (2018), não foram considerados os produtos químicos utilizados nas etapas de beneficiamento, apenas o volume de água aplicado no processo produtivo dividido pela quantidade de peças produzidas.

Se neste estudo fosse considerada essa mesma metodologia, utilizada por Viana et al. (2018) as lavanderias de pequeno porte teriam uma pegada hídrica cinza de  $36,5 \text{ L peça}^{-1}$ , médio porte de  $23,5 \text{ L peça}^{-1}$  e grande porte  $7,6 \text{ L peça}^{-1}$ . Valores distintos em ambos os estudos, em função do menor consumo hídrico relatado no presente estudo, uma vez que as empresas pesquisadas adotam como estratégia o reuso da água em suas lavanderias.

Samanta et al. (2017) mencionam em seu estudo, que para processar 1 kg de algodão, desde o processamento preparatório até o acabamento incluindo a coloração, produtos químicos têxteis e sobras, são necessários aproximadamente 100 L de água limpa, que é parcialmente reciclada ou descarregada como um efluente contaminado.

Valores elevados ao serem comparados com os desta pesquisa, por serem contabilizadas as etapas de produção de algodão até o beneficiamento do jeans.

A pegada hídrica cinza total somando todas as etapas do beneficiamento de jeans foi de  $15,72 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$  de jeans beneficiado, sendo que 47,50% é da fase de descoloração do jeans/ Used com o uso do permanganato de potássio; 29% da fase de tingimento com uso do hipoclorito de sódio e 20,99% da fase de neutralização com a utilização do metabissulfito de sódio.

Empinotti et al. (2013) afirmam que ao quantificar a pegada hídrica cinza a depender o poluente, até 45% é de PHC. Dessa forma, corroborando com essa pesquisa, e indicando que as ações em países como o Brasil deveriam ser focadas principalmente no reuso dentro das indústrias/lavanderias têxteis e para o tratamento dos efluentes.

Chen et al. (2015), relatam que 20% da poluição da água doce nas indústrias de beneficiamento do jeans é oriunda da fase de tingimento. Resultado este que se assemelha ao observado no presente estudo.

#### ***5.4. Pegada Hídrica cinza do Processo Industrial***

A pegada hídrica cinza do processo industrial leva em consideração o produto químico ou a fase de beneficiamento do jeans que é considerada mais poluente, no caso do processo de descoloração com a utilização do permanganato de potássio foi o considerado mais poluente.

A pegada hídrica cinza do processo industrial das indústrias/lavanderias de beneficiamento de jeans foi de  $8.375.413,132 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$  para as três cidades estudadas, ou seja, para 16% do beneficiamento do jeans nacional. Com base nesse valor de pegada hídrica cinza de processo industrial seriam necessários mais de 6 rios Capibaribe com pico de vazão de  $1.339.207,77 \text{ m}^3$  para diluir essa pegada hídrica cinza.

Se todas as indústrias/lavanderias têxteis brasileiras adotarem as mesmas etapas e produtos para beneficiamento de jeans teríamos um total de pegada hídrica cinza para o processo industrial de  $52.346.332,075 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ . Sendo dessa forma, inferior ao obtido por Wang et al. (2013), que obteve uma pegada hídrica cinza do processo de beneficiamento das indústrias têxteis de 63 bilhões de  $\text{m}^3 \text{ ano}^{-1}$ , pois, os autores utilizaram como base para o cálculo a concentração de demanda química de oxigênio (CODCr) da indústria têxtil da China, além disso consideraram todas as indústrias de beneficiamento daquele país.

A pegada hídrica cinza da uma empresa têxtil é cerca de 27 vezes maior que a pegada hídrica azul, obtendo um total anual em torno de 1.534 .252 m<sup>3</sup>(96%) de água necessária anualmente para assimilar a carga de poluentes gerada, valor associado ao poluente mais crítico (CQO), correspondendo a uma necessidade anual de 472 m<sup>3</sup> de água para diluição dos contaminantes gerados por cada tonelada de malha processada (Cordeiro, 2014).

Quando o efluente gerado pela indústria têxtil passa por algum tipo de tratamento para retirar parte dos produtos químicos usados no processo de beneficiamento de jeans a pegada hídrica cinza reduz cerca de 85%. Wang et al. (2013) afirmam que após tratamento do efluente a PHC do processo de beneficiamento de jeans na China é de 12 bilhões de m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>. Se o Brasil adotar estas estratégias em suas indústrias/lavanderias o benefício será relevante, já que como foi observado no estudo a pegada hídrica cinza do processo de beneficiamento de jeans embora menor que a da China, ainda assim, é elevado. De acordo com Franke et al. (2013), a variação de valores da PHC é totalmente aceitável porque sistemas produtivos iguais apresentam condições ambientais peculiares às suas localidades.

Esse volume hídrico do processo industrial é considerando o total de água necessário para assimilar o permanganato de potássio, produto químico mais poluente. É importante destacar que, a pegada hídrica cinza resultante é referente apenas ao processo de beneficiamento do jeans nas indústrias/lavanderias têxteis.

Essa elevada demanda de água para diluir os poluentes da indústria têxtil na região agreste de Pernambuco, deixa claro que a maior pressão sobre os recursos hídricos locais advém da defasagem do sistema e das indústrias têxteis que não utilizam produtos menos poluentes ao meio ambiente como o *used ecológico*, ozônio e plasma.

Samanta et al. (2017) evidenciam em seu estudo que para atenuar as questões relacionadas às preocupações ambientais associadas à indústrias/lavanderias têxteis, estão sendo feitas alterações no processo de beneficiamento adotando técnicas de processamento emergentes ecologicamente corretas, como laser, plasma, ozônio e jateamento de areia. Em muitos casos, o plasma frio de oxigênio foi tentado para determinar e desbotar a cor do jeans.

São diversos os processos das indústrias têxteis que geram uma grande quantidade de líquido efluente, descarregado na corrente de água contaminada com resíduos corantes, pigmentos ácidos, alcalinos, colantes, branqueadores, oxidantes e redutores agentes e outros produtos químicos, sendo que alguns dos produtos químicos utilizados em

preparações têxteis processamento, tingimento e acabamento podem causar poluição ambiental (Samanta et al., 2016). Sendo fundamental a determinação da pegada hídrica das fases de beneficiamento da indústria têxtil, para quantificar o volume requerido no processo industrial visando diluir a poluição gerada durante o processo industrial.

A indústria têxtil, que utiliza produtos químicos como cloro, está entre os processos que podem contribuir de maneira significativa para a poluição das águas (Myers, 2016). Para Viana et al. (2018) e Alkaya & Demirer (2014), a compreensão do consumo elevado de água de uma peça de roupa e os problemas relacionados a escassez hídrica na sociedade podem funcionar como uma importante ferramenta na identificação de ações e medidas mitigadoras, como é o exemplo do reuso de água em algumas lavandarias de beneficiamento de jeans e utilização de produtos ecológicos na fase de beneficiamento. Tais ações e medidas podem diminuir o consumo de água, beneficiando, não somente o meio ambiente, como também as indústrias, por reduzirem os custos com a compra ou a captação da água.

Isto reforça a importância do uso da PHC como ferramenta de gestão para o uso racional da água, assim como a necessidade de contextualizar os resultados do seu cálculo no escopo específico do estudo (Sousa Júnior & Vieira, 2012; Hoekstra et al., 2011).

### ***5.5. Sustentabilidade da PHC da indústria têxtil***

A sustentabilidade da pegada hídrica cinza com base no produto químico mais poluente e os níveis de poluição da água (NPA) das indústrias/lavanderias têxteis para as bacias dos rios Capibaribe e Ipojuca no agreste pernambucano, estão na Tabela 11.

As cidades de Santa Cruz do Capibaribe e Toritama juntas correspondem a uma pegada hídrica cinza anual de 613.964,64 ( $\text{m}^3\text{ano}^{-1}$ ) enquanto, que Caruaru é responsável por uma pegada hídrica de 504.976,83 ( $\text{m}^3\text{ano}^{-1}$ ) (Tabela 11). Cabe ressaltar que esses valores são apenas referentes a pegada hídrica cinza do produto químico mais poluente, uma vez que segundo Hoekstra et al. (2011), o volume hídrico requerido para este produto é capaz de assimilar as PHC dos produtos químicos menos poluentes.

A cidade de Caruaru tem maior expressividade na PHC, porque cerca de 71% das indústrias/lavanderias têxteis são classificadas como de médio e grande porte. Já Toritama e Santa Cruz do Capibaribe possuem 64% das indústrias/lavanderias têxteis de pequeno porte e 36% de médio e grande porte.

As indústrias/lavanderias têxteis de grande porte tem maior consumo de produtos químicos, pois produzem mais peças por dia, assim como consequência têm-se maiores pegadas hídricas cinza, individualmente. Muitas empresas químicas têm elaborado seus produtos livres de composições químicas para criar produtos ecologicamente corretos. Um bom exemplo é o produto Advanced Denim, da Clariant, em que a exigência de utilização de água no processo de lavagem apresenta uma economia de 60% (Figueiredo & Cavalcante, 2010).

**Tabela 11** - Sustentabilidade da pegada hídrica cinza com base nos níveis de poluição da água das indústrias/lavanderias têxteis das bacias dos rios Capibaribe e Ipojuca no agreste pernambucano. Elaborado pela autora (2019).

Bacia	Escoamento (m <sup>3</sup> ano <sup>-1</sup> )	Área da bacia (km <sup>2</sup> )	Pegada hídrica cinza (m <sup>3</sup> ano <sup>-1</sup> )	NPA
Rio Capibaribe (C)	1.339.207,77	5.880,00	613.964,64	0,458
Rio Ipojuca (I)	66.137,99	3.435,34	504.976,83	7,63
Bacia (C+I)	Escoamento (m <sup>3</sup> ano <sup>-1</sup> ) 1.405.345,77	Área da bacia (km <sup>2</sup> ) 9.315,34	PHC processo (m <sup>3</sup> ano <sup>-1</sup> ) 8.375.413,13	NPA 5,95

Mekonnen & Hoekstra (2018), afirmam que o Brasil ocupa o sexto lugar em pegada hídrica cinza do setor industrial, correspondendo a 16 bilhões m<sup>3</sup>ano<sup>-1</sup>, isso levando em consideração apenas o nitrogênio. Diante dos resultados, percebe-se que quando se analisa a indústria voltada para as lavanderias têxteis com bases nos produtos químicos utilizados, a pegada hídrica cinza pode bem superior.

Lia et al. (2016) expõem que, a indústria de produtos têxteis em Pequim possui uma pegada hídrica cinza da ordem de 56.632.000,00 (m<sup>3</sup>ano<sup>-1</sup>), ou seja, um pouco superior ao obtido no presente estudo, uma vez que foram avaliados apenas três municípios têxteis brasileiros.

Lambooy (2011) relata que, os empreendimentos industriais são grandes utilizadores de água e produtos químicos e expressam contribuição significativa na poluição hídrica. Assim, dada a relevância dos recursos hídricos para as operações de beneficiamento nas empresas, as organizações estão expostas aos riscos relacionados à gestão hídrica inadequada, tornando-se uma prática essencial assumir um comportamento responsável quanto a utilização sustentável e conservação da água (Ercin et al., 2012).

É importante frisar que, quando se expressar a poluição da água em termos do volume de água necessário para a assimilação dos poluentes, e não em termos de concentrações de contaminantes, traz a poluição da água para a mesma unidade que o

consumo, dessa maneira, o uso da água como dreno e o uso da água como recurso, dois usos concorrentes, tornam-se comparáveis (Mekonnen & Hoekstra, 2015).

O nível de poluição da água (NPA), denominado fração consumida da capacidade de assimilação dos efluentes, é calculado pela razão entre a maior pegada hídrica cinza das indústrias/lavanderias têxteis e a vazão real de uma bacia (Qreal), no caso das bacias do rio Capibaribe e Ipojuca. Nota-se que para o rio Capibaribe o nível de poluição da água é de 45,8%, já para o rio Ipojuca o NPA é de 763% (Tabela 11).

Assim, evidencia-se que o rio Capibaribe utilizou apenas 45,8% do total, ou seja, 45,8% da capacidade de assimilação dessa bacia, desta forma, a capacidade do rio, ainda não foi completamente comprometida, portanto, a atividade da indústria/lavanderia têxtil é classificada como sustentável para o NPA (Tabela 11). Essa classificação é apenas levando em consideração o poluente mais crítico para a indústria/lavanderia têxtil, não sendo incluído os efluentes de origem doméstica, industrial de outros setores e agrícolas.

Silva et al. (2012) afirmam que 40% das indústrias/ lavanderias têxteis presentes no polo de confecções de Caruaru jogam seus efluentes no esgoto público e 38% nos canais. O percentual despejado no Rio Ipojuca é de aproximadamente 18%, no entanto, convém dizer que esse número deve ser muito maior, pois os entrevistados são justamente aqueles que teoricamente estão amparados pela Lei, cumprindo as normas e recebendo alguma fiscalização. Além disso, algumas indústrias/ lavanderias têxteis, mesmo possuindo estação de tratamento de água, acabam não utilizando e, na prática, despejam seus efluentes sem realizar nenhum tipo de retirada dos produtos químicos e resíduos.

As cidades de Santa Cruz do Capibaribe e Toritama despejam seus efluentes têxteis no Rio Capibaribe, este se encontra poluído por resíduos sólidos e líquidos, orgânicos e inorgânicos de origem industrial e agrícola, além de apresentar altas taxas de assoreamento. Do volume total de água despejada sem tratamento, a cidade de Santa Cruz do Capibaribe é responsável por 3,11% desse total, enquanto Toritama por 1,51% (SRH –PE, 2010).

Na bacia do rio Ipojuca somada ao Capibaribe para a pegada hídrica cinza do processo industrial, observa-se que esta é classificada como insustentável, visto que a capacidade de assimilação dos corpos hídricos foi excedida em mais de 100%, tendo um valor de NPA, correspondendo a 595% (Tabela 11). O que em termos práticos significa que a vazão dos rios não pode assimilar a descarga de águas residuais geradas pelas indústrias têxteis. Elevados níveis de poluição da água, geralmente são explicados pelos baixos volumes de escoamento de algumas bacias, disponíveis para assimilar a carga de

poluentes que tende a ser elevada, no caso das indústrias têxteis. Além disso, a região possui baixa precipitação com média de 516 mm anual o que propicia baixas vazões nos rios.

Para Silva et al. (2012), a ausência de adequação com os efluentes e uso da água nas indústrias/lavanderias de Jeans em Caruaru, contribui para que o NPA da bacia do rio Ipojuca seja classificado como insustentável.

É imprescindível mencionar que, estes valores de níveis de poluição da água estão incluídos no montante da bacia, se considerar apenas a parte que passa em cada uma das cidades polos (Santa Cruz do Capiberibe, Toritama e Caruaru), essa realidade seria ainda mais agravante.

Mekonnen & Hoekstra (2018), informam que a bacia do rio Paraná possui NPA de 630%, já a bacia do rio Aral de 8400% considerada a bacia mais poluída no mundo, com base nos níveis de fósforo presentes nos efluentes domésticos, industriais e da agricultura depositados nestes corpos hídricos.

Pode-se notar que os padrões de qualidade da água em seu estado natural das bacias dos rios Ipojuca e Capibaribe, foram violados (Tabela 11). Hoekstra et al. (2011) declaram que quando o nível de poluição da água está acima 100% indica que a bacia não está sendo capaz de assimilar os resíduos e, com isso, seus padrões de qualidade natural foram violados. Quando esta situação é observada entende-se que a pegada hídrica cinza da bacia é considerada insustentável. No entanto, caso a NPA seja inferior a 100%, a capacidade de assimilação dos rios ainda não foi comprometida e, portanto, a atividade seja ela industrial ou mesmo agrícola é classificada como sustentável.

É possível verificar que a capacidade dos rios estudados, no contexto de poluição causada pelas indústrias/lavanderias têxteis da região agreste de Pernambuco, foi superutilizada. Assim, o estudo dos níveis de poluição da água dos produtos químicos utilizados nas indústrias/lavanderias têxteis é fundamental para reduzir a PH cinza, uma vez que, permite realizar escolhas de substâncias que irão poluir menos os recursos hídricos, necessitando de uma menor quantidade de volume de água para diluí-los, e consequentemente sem riscos aos demais usuários.

Além da redução da PHC, a análise dos produtos químicos, permite caracterizá-los mais detalhadamente quanto ao risco para o homem e meio ambiente, podendo ser um indicador diferenciado na seleção dos químicos a serem empregados. Essa redução é possível se as indústrias/lavanderias têxteis começarem a substituir o permanganato de

potássio e o cloro por técnicas como ozônio, marcação no jeans por laser e o plasma frio de oxigênio (Samanta et al., 2014).

Almeida & Moura (2016) afirmam que a indústria/ lavanderia têxtil utiliza produtos químicos, pois eles produzem efeitos que acrescentam valor de mercado (valor agregado) às peças jeans, porém esses mesmos químicos agredem o meio ambiente, podendo influenciar a saúde da população que circunda os locais onde estão sendo despejados os resíduos. Há aquelas empresas que fazem o tratamento e reutilizam novamente a água, ou mesmo realizam tratamentos que fazem com que a água retorne ao meio ambiente sem a impureza dos resíduos, todavia são poucas as que fazem uso dessa prática considerada sustentável.

Para Oel & Hoekstra (2012), a sustentabilidade de uma pegada hídrica depende inteiramente de fatores locais, como as características hídricas da região, assim, uma pegada hídrica cinza grande pode torna-se sustentável em áreas ricas em água, enquanto uma PHC pequena pode comprometer a sustentabilidade em áreas com escassez de água. O uso da água doce está totalmente relacionado com os problemas de escassez e a poluição, principalmente, pelo uso de pesticidas na agricultura e pelos poluentes químicos lançados no ar e na água, pelas indústrias.

Quando se fala em indústrias têxteis a sustentabilidade é frequentemente mencionada, visando novos mercados, tendo em vista que o consumidor está cada vez mais consciente e pensando em utilizar produtos que atendam às necessidades da sociedade atual sem comprometer os recursos necessários para as gerações futuras (Samanta et al., 2014). As indústrias/ lavanderias têxteis no mundo têm buscado uma produção competitiva, eficiente e segura, garantindo a proteção das condições ambientais, sociais e econômicas das comunidades (Platform, 2013). Essa estratégia garante a inserção em um mercado cada vez mais conscientes.

Figueiredo & Cavalcante (2010) relatam que algumas empresas de beneficiamento têm introduzido enzimas que são produtos biodegradáveis, logo ecologicamente corretos, em cada etapa do processo que envolve a fabricação do denim, inclusive o desbotamento (descoloração/ permanganato de potássio). Já os fabricantes de denim têm lançado produtos que respondem com maior velocidade aos processos de lavagem e, portanto, reduzem ao mínimo a exigência de tais processos bem como a utilização de produtos químicos, deixando seus produtos mais sustentáveis.

De fato, para que algo seja sustentável, ele precisa sobreviver por um longo tempo sem danificar o meio ambiente e a sociedade, ou se tornar muito caro para continuar, de

modo que um dia ele terá que morrer naturalmente. Para ser sustentável dentro da definição dada, é necessário produzir uma fibra, um tecido, um jeans ou um design de moda sem prejudicar o meio ambiente, as pessoas envolvidas em toda cadeia de produção, e sem custar muito caro (Wang et al., 2013).

Para a produção de têxteis sustentáveis com processamento químico apropriado, o desenvolvimento do produto também deve ser sustentável em termos de energia, água, custo, matéria-prima, produtos químicos utilizados e biodegradabilidade, e a partir do ponto nos processos de branqueamento e tingimento (Zhang et al., 2018).

Maracajá et al. (2012) mostram que, a sustentabilidade da pegada hídrica está intrinsicamente associada com a disponibilidade de água tanto em quantidade como em qualidade na região escolhida, que pode variar entre cidades, estados e países. É importante considerar o fluxo de água virtual entre diferentes países. Isso implica que países com escassez, tem alto consumo de água virtual contida nos produtos consumidos por essa nação. O conceito de água virtual leva em consideração a água utilizada na fabricação do produto desde o consumo de água da produção agrícola até processo de manufatura. O que se relaciona com a sustentabilidade da pegada hídrica cinza da indústria/ lavanderia têxtil do agreste Pernambucano, pois, a região passa por problemas de escassez hídrica, os rios são de regime temporário, em muitos casos as lavanderias necessitam comprar água por intermédio de carros pipas para continuar suas atividades no período seco.

Os têxteis afetam a vida de todos através de roupas, tecidos e outros produtos, mas o setor não apenas afeta o estilo de vida das pessoas, como também afeta significativamente os recursos do mundo. Sua produção depende fortemente de água, desde matérias-primas até as etapas de processamento industrial. A crescente concorrência pela água já está impactando os setores têxteis e outros, e as restrições hídricas cada vez mais, desafiam os “negócios como sempre”. É fundamental para a viabilidade a longo prazo do setor, para a saúde dos ecossistemas e comunidades entenderem como a água é usada em todas as etapas da cadeia de suprimentos e priorizar ações que garantam em que seja usada da maneira mais sustentável possível (Safaya et al., 2016).

Os elevados níveis de poluição das águas dos rios Ipojuca e Capibaribe, podem ser constatados por meio visual observando a coloração da água em alguns trechos dos rios próximos as indústrias/lavanderias têxteis nas cidades de Caruaru, Toritama e Santa Cruz do Capibaribe (Figura 6).



**Figura 6** - Trechos do rio Ipojuca na Cidade de Caruaru (A) e rio Capibaribe em Toritama (B). Fonte: Chagas (2009); Oliveira (2007).

Os rios possuem coloração verde azulada em alguns trechos e muitas vezes forte odor, em decorrência da deposição dos efluentes das lavanderias têxteis, contudo, cabe salientar eles também recebem esgoto doméstico, resíduos agrícolas e de outras indústrias, o que propicia maiores níveis de poluição (Figura 6).

Almeida & Moura (2015), evidenciam que não é somente pelo fato de rios e riachos aparecerem com a cor azulada, mas sinaliza sua origem, por possuir todos os componentes químicos para se tingir ou descolorir uma peça jeans.

De acordo com o ITEP (2008), nas cidades de Caruaru e Toritama, existem cerca de 110 e 56 indústrias/lavanderias de jeans, respectivamente, onde são gerados 5,9 milhões de litros de efluentes por dia, o que representa 153 milhões de litros mensais. Em decorrência disto, verifica-se a insustentabilidade da pegada hídrica cinza das bacias estudadas.

A medida que o mercado consumidor procura por roupas de um determinado segmento da moda, os produtos químicos utilizados mudam, reduzindo ou aumentando suas quantidades, sem falar nos preços que podem estar mais atrativos ao consumidor. Para se alcançar tal feito, a indústria da moda se utiliza de ardilosos métodos que vão de encontro ao conceito ético, que abrange questões de matérias-primas produzidas em consonância com as preocupações ecológicas e a não promoção de corpos insalubres (Matharu, 2011).

Costa & Ferreira (2019) expõem que, os elevados níveis de poluição da água (NPA) se devem dentre outros fatores, às indústrias implantadas no entorno da Bacia

Hidrográfica do Rio Ipojuca e Capiberibe, cujos efluentes apresentam características de toxicidade, com destaque para a indústria têxtil, destilarias, galvanoplastias e indústrias químicas direcionadas à produção de tintas e corantes.

A mudança de coloração do corpo hídrico é notada constantemente pela população e está associada à contaminação, pelo uso de corantes nas diversas fases de beneficiamento do jeans, os corantes merecem atenção, pois, interferem direta ou indiretamente no processo de fotossíntese da vida aquática, podendo ser tóxicos, mutagênicos ou cancerígenos (Ferraz et al., 2011).

O principal receptor de efluentes do município de Caruaru é o rio Ipojuca e das cidades de Toritama e Santa Cruz do Capiberibe o rio Capiberibe. Os Indicadores de Desenvolvimento Sustentável apontaram que, o rio Ipojuca ocupava o 3º lugar entre os rios mais poluídos do Brasil já o rio Capiberibe o 7º lugar. Eles apresentavam-se poluídos em todo o seu curso, essa região responde por cerca de 16% de toda a produção de jeans do Brasil, e as indústrias/lavanderias despejam seus efluentes nos rios (Costa & Ferreira, 2019; IBGE, 2010; SRH, 2010).

De acordo com a EXAME (2010), a maioria das indústrias/lavanderias têxteis que possuem alto fator produtivo encontra-se na China, Brasil, Índia e Tunísia, e, que apesar de haver grande concentração de relatos jornalísticos sobre a poluição dos rios que atingem níveis caóticos, deixando-os impróprios, retratam ainda que a ausência de tratamento da água utilizada nas lavagens, tem gerado como consequência visível, na mudança da coloração das águas desses rios que é alterada com o decorrer do tempo privando a população do seu uso, para sua subsistência.

Esse é um quadro convencional para as indústrias/lavanderias mundiais, a exemplo disso tem-se a cidade de Tehuacán, no México, que por anos atenderam empresas norte-americanas, como GAP e Levi's, sendo a cidade que mais produzia jeans no mundo, e que em decorrência da poluição constante de rios foram contaminados alimentos, pois a mesma água que era escoada das lavanderias servia de irrigação para as lavouras, o que trouxe prejuízo nacional e internacional (Tavares & Arnt, 2011). Esse fato pode ser observado na região Agreste de Pernambuco, onde a água dos rios Ipojuca e Capibaribe são utilizadas para fins de irrigação sem nenhum tratamento prévio, contudo não se tem estudos a respeito das possíveis contaminações dos alimentos.

Para Schwarzenbach et al. (2010), a imensa variedade de poluentes sejam eles para indústria, agricultura e outros seguimentos, faz com que seja cada vez mais

trabalhoso a determinação da qualidade da água em níveis de poluição, pois cada produto tem um comportamento diferenciado.

As indústrias/lavanderias de jeans, abastecem principalmente, o setor de moda, contudo, a preocupação com estas empresas está relacionada, ao seu potencial poluidor que vem sendo intensificado cada vez mais, estimulando nas últimas décadas a realização de pesquisas acadêmicas com um enfoque mais sustentável (Brito, 2013).

O maior impacto causado ao meio ambiente pelas indústrias têxteis, acontece em função da utilização de insumos químicos e corantes nas atividades de descoloração, tingimento e amaciamento, pois a água é utilizada nos processos de lavagem, coloração, transferência de calor, aquecimento ou resfriamento (Ferreira, 2011).

As empresas que utilizam algum processo de tratamento desses efluentes gerados, operam apenas com um processo primário que não retira totalmente os resíduos. Dessa forma, os níveis de poluição das águas são elevados, o que contribui de forma expressiva para a insustentabilidade hídrica do setor, em razão dos efluentes gerados conterem várias substâncias contaminantes, encontradas nas composições dos produtos químicos utilizados que não são aderidas pelo têxtil e causam danos ao meio ambiente.

## 6. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo permitem concluir que o consumo de água bruta, de produto químico, o reuso e a produção de jeans eleva-se, a medida que as empresas crescem com relação ao porte.

As fases de maior pegada hídrica cinza de jeans beneficiado foram a descoloração/Used e tingimento, com valor de 1.118.941,47 m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup> e 763.140,00 m<sup>3</sup>ano<sup>-1</sup>.

Os produtos químicos com pegada hídrica cinza mais elevada são o permanganato de potássio (KMnO<sub>4</sub>) e o hipoclorito de sódio (NaClO) com 7,49 m<sup>3</sup> kg<sup>-1</sup> e 4,56 m<sup>3</sup> kg<sup>-1</sup> de jeans beneficiado.

A pegada hídrica cinza anual das indústrias/ lavanderias têxteis estudadas foi de 2.500.104,87 (m<sup>3</sup>ano<sup>-1</sup>).

As indústrias/lavanderias têxteis estudadas produzem 6.010.560,00 peças ano<sup>-1</sup> e uma pegada hídrica cinza proporcional com base no número de peças produzidas de 22.479.494,4 m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>.

A pegada hídrica cinza média é de 5,25 m<sup>3</sup>kg<sup>-1</sup> de jeans beneficiado no agreste de Pernambuco.

Seriam necessários 6,25 rios Capibaribe ou 126,63 rios Ipojuca com maior pico de vazão durante o ano para diluir uma pegada hídrica cinza do processo hídustrial de 8.375.413,13 m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>.

O processo industrial das indústrias/lavanderias têxteis com base no nível de poluição da água teve pegada hídrica cinza classificada como sustentável par ao rio Capibaribe e insustentável para o rio Ipojuca no momento de maior vazão.

A depender da vazão da bacia o nível de poluição da água pode ser sustentável ou insustentável.

As indústrias/lavanderias de pequeno porte consomem menos água bruta e produzem menos peças por mês. Empresas de grande porte utilizam mais água e reutilizam mais.

As indústrias/lavanderias têxteis são grandes agentes poluidoras, uma vez que usam elevados volumes de água e produtos químicos, necessitando de normas mais rígidas quanto a emissão e despejos de seus resíduos.

Para que as indústrias/lavanderias têxteis da região agreste de Pernambuco possuam uma pegada hídrica cinza sustentável, faz-se necessário a substituição dos

produtos químicos utilizados que obtiveram maiores PHC, assim como reutilizar um maior volume de água em seus processos e buscar matéria prima sustentável como o algodão orgânico. Como também os rios que se encontram poluídos devem passar por processos visando despoluição de suas águas.

O Agreste de Pernambuco necessita adotar em suas indústrias/lavanderias a utilização de produtos menos poluentes, buscar por incluir o algodão ecológico, utilização de ozônio/ plasma e oxigênio no processo de beneficiamento.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO14001 e 14004: Rio de Janeiro. 2010. Disponível em: [http://www.inf.ufes.br/~neyval~/Gestãoambiental/SGA/Processos\\_Normas\\_Abnt.Pdf](http://www.inf.ufes.br/~neyval~/Gestãoambiental/SGA/Processos_Normas_Abnt.Pdf). Acesso Em 18 De Outubro 2017.

Aladaya, M. M.; Martinez –Santos, P.; Llamas, M. R. “Incorporating the Water Footprint and Virtual Water into Policy: Reflections from the Mancha Occidental Region, Spain”. **Water Resour Manage**,v. 125, n 24, p. 941-958. 2011.

Alkaya, E.; Demirer, G. N. Sustainable textile production: a case study from a woven fabric manufacturing mill in Turkey. **Journal of Cleaner Production**. v. 65, n.15, p. 595-603.2014.

Almeida, A. M. B. Roupa suja se lava em casa: A seca no agreste pernambucano e a gestão ambiental na lavanderia Água Limpa. **Revista Administração Pública e Gestão Social**, v. 5, n. 2, p. 134-138, 2013.

Almeida, M. D.; Moura, M. O conceito de sustentabilidade aplicado pelas empresas de vestuário. **Revista Moda Palavra**, n.9. edição especial, p. 79-103. 2016.

Amorin, M. C. C.; Porto, E. Considerações sobre o controle e vigilância da qualidade de água de cisternas e seus tratamentos. **In.:** Simpósio sobre captação de água e chuva no semiárido brasileiro, 4., Petrolina, PE, 2003.

Arias-Estevez, M.; Lopez-Periago, E.; Martínez-Carballo, E.; Simal-Gandara, J.; Mejuto, J.; Garcia-Ri, O. L. The mobility and degradation of pesticides in soils and the pollution of groundwater resources. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.123, n.4, p.247-260, 2008.

Baird, C. **Química Ambiental**. 2. ed. Porto Alegre: Bookmam, 2002, 622p.

Balan,D.S.L. Biodegradação e Toxicidade de efluentes têxteis. **Revista da ABIT**, v. 10, n.4, p. 16-20. 2000.

Barros, R. M. Tratado sobre resíduos sólidos: gestão, uso e sustentabilidade. Rio de Janeiro: Interciência, 2012. 213p.

Beltrão, B. A.; Mascarenhas, J. C.; Miranda, J. L. F.; Souza Junior, L. C.; Galvão, M. J. T. G.; Pereira, S. N. **Diagnóstico do município de Toritama**. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. CPRM - Serviço Geológico do Brasil. 2005. 20p.

Berger, M.; Finkbeiner, M. “Water Footprinting: How to Address Water Use in Life Cycle Assessment? ”. **Sustainability**, v. 11, n.2, p 919-944. 2010.

Bosire, C. K.; Ogutu, J. O.; Said, M. Y.; Krol, M. S.; Leeuw, J.; Hoekstra, A. Y. “Trends and spatial variation in water and land footprints of meat and milk production systems in Kenya”. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 128, n.205, p. 36-47. 2015.

Brandão, A. L. Instrumentos de Política Ambiental em Pernambuco: O Caso das Lavanderias de Toritama. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**. v. 01. n.2, p. 421-445, 2017.

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente. CONAMA 357/2005** - Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União –18/03/2005. 2005. Disponível em: <[http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLUCAO\\_CONAMA\\_n\\_357.pdf](http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLUCAO_CONAMA_n_357.pdf)>. Acesso em: 11 de nov. de 2018.

Brito, G. A. Sustentabilidade: um desafio para as lavanderias industriais. **REDIGE**, v. 4, n. 02, p.56-67. 2013.

Brito, R. O. Gestão e comunidade escolar: ferramentas para a construção de uma escola diferente do comum. Brasília: Liber Livro, 160p. 2013.

Bulsink, F.; Hoekstra, A. Y.; Booij, J. “The water footprint of Indonesian provinces related to the consumption of crop products”. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 23, n.14, p. 119-128. 2010.

Buss, M. V.; Ribeiro, E. F.; Schneider, I. H.; Menezes, J. C. S. S. Tratamento dos efluentes de uma lavanderia industrial: avaliação da capacidade de diferentes processos de 85 tratamentos. **Revista de Engenharia Civil IMED**. v. 2, n. 1, p. 2–10, 2015.

Campos, J. N. Secas e políticas públicas no semiárido: ideias, pensadores e períodos. **Estudos Avançados**, v. 28, n.82, p. 65-88, 2014.

Carbo, L.; Souza, V.; Dores, E. F. G. C.; Ribeiro, M. L. Determination of pesticides multiresidues in shallow groundwater in a cotton-growing region of Mato Grosso, Brazil. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v.19, n.6, p.1111-1117, 2008.

Chagas, M. A. **Tratamento de efluente textil por processo físico, químico e biológico**. 2009. 73f. Dissertação de mestrado(Tecnologia ambiental e recursos hídricos). Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, 2009.

Chapagain, A. K.; Hoekstra, A. Y.; Savenije, H. H. G.; Gautam, R. 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**. **Netherlands**, n. 60, v. 120, p. 186 –203, 2006.

Chen, Y.; Cui, J.; Yang, J. Zhang, Z.; Yuan, M.; Song, C.; Yang, H.; Liu, H.; Wang, C.; Zhang, H.; Zeng, X.; Yuan, S. Biomonitoring heavy metal contaminations by moss visible parameters. **Journal of Hazardous Materials**, v.296, n.22, p.201–209, 2015.

Chico, D.; Aldaya, M.; Garrido, A. A water footprint assessment of a pair of jeans: the influence of agricultural policies on the sustainability of consumer products. **Journal of Cleaner Production**, v.57, n. 120, p. 238- 248. 2013.

Cordeiro, A. F.F. **Avaliação da pegada hídrica de uma empresa**. 2014. 99f. Dissertação de mestrado (Mestrado integrado em engenharia de meio ambiente) - Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Porto 2014.

Costa, G. C. B.; Ferreira, M. O. Indicação de alocação dos custos em projetos de despoluição: uma análise das bacias hidrográficas dos rios ipojuca e capibaribe. **Revista Estudo & Debate**, v. 26, n. 3, p. 124-151, 2019.

Costa, A. F. S. **Aplicação de tratamentos biológico e físico-químico em fluentes de lavanderia e tinturaria industriais do município de Toritama no estado de Pernambuco**. 2008. 99f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais) – Universidade Católica de Pernambuco, Pernambuco, 2008.

CPRH- Agência Estadual do Meio Ambiente de Recursos Hídricos. **Relatório de Monitoramento de Bacias Hidrográficas do Estado de Pernambuco-2009**. Disponível em: <http://www.pprh.pe.gov.br>. Acesso no dia 21 de Nov. 2017.

Donaire, D. **A repercussão da questão ambiental na organização**. In: DONAIRE, Denis. *Gestão ambiental na empresa*. 2 ed. 15 reimpr. São Paulo: Atlas, 2011.

Drastig, K.; Prochnow, A.; Kraatz, A.; Klauss, H. Water footprint analysis for the assessment of milk production in Brandenburg (Germany). **Advances Geosciense**, v.27,n.1, p.65-70. 2010.

ECHA, 2019, '**Clothes and textiles**' Disponível em: (<https://chemicalsinourlife.echa.europa.eu/clothes-and-textiles>) accessed 5 June 2019.

ELETROCHEMICAL. **Ficha de informações de segurança de produto químico – FISPQ/Permanganato de potássio**. 2017. Limeira, 2017. 6 p. (Relatório). Disponível em: < <http://www.electrolimeira.com.br/site/fispq/0022.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2020.  
Ellen MacArthur Foundation, *Circular Fashion - A New Textiles Economy: Redesigning fashion's future*. 2017, 100p.

Empinotti, V. L.; Tadeu, N. D.; Martins, R.S. L. Análise crítica da Pegada Hídrica Cinza na produção de cellulose. **Revista Ambiente e Água**, v. 8 n. 3, p. 166-177. 2013.

Empinotti, V. Pegada Hídrica: ferramentas de gestão, atores e seu impacto sobre as práticas de governança no Brasil. **In:** Congresso da Associação de Estudos Latino Americanos, San Francisco, Califórnia, 2012.

Ercin, A. E.; Hoekstra, A. Y. “Water footprint scenarios for 2050: A global analysis”. **Environment International**, v.1, n.64, p. 71-82, 2014.

Ercin, A. E.; Maite, M. Aldaya, M. M.; Hoekstra, Y. A. The water footprint of soy milk and soy burger and equivalent animal products. **Ecological Indicators**, n.3 v. 18, p. 392-402, 2011.

EXAME. “Greenpeace alerta para contaminação na indústria têxtil mundial.”2010.[Online] Disponível em: <http://exame.abril.com.br/economia/meio-ambiente-e-energia/noticias/greenpeace-alerta-para-contaminacao-na-industria-textil-mundial> . Acesso em: 9 de maio 2020.

Ferraz, E.R.A.; Grando, M.D.; Oliveira, D.P. The azo dye disperse orange 1 induces dna damage and cytotoxic effects but does not cause ecotoxic effects in daphnia similis and vibrio fischeri. **Journal of hazardous materials**. v. 192, n. 2, p. 628–633,2011.

Ferreira, E. L. Pele, Couro, Moda: a matança de animais e o cromo. In: Etnobotânica, 2011. Disponível em: <http://www.etno-botanica.com/2011/02/pelescouro-moda-matanca-de-animais-e-o.html>. Acesso em: 21 nov. 2018.

Figueiredo, G. C.; Cavalcante, A. L. B. L. Calça Jeans - Produtividade e Possibilidades Sustentáveis. **Revista Projética**, v. 1, n.1, p. 128-145, 2010.

Fletcher, K.; Grose, L. **Moda & sustentabilidade: design para mudança**. São Paulo: Editora Senac, 2011. 200p.

Franke, N.A.; Boyacioglu, H.; Hoekstra, A.Y. **Grey Water Footprint Accounting: Tier 1 Supporting**. UNESCO-IHE, Institute for Water Education .Delft. 2013.64p.

Froehner, S.; Martins, R. F. Avaliação do destino e bioacumulação de benzo(a)pireno através de simulação computacional. **Química Nova**, v. 31, n. 5, p. 1089-1093, 2008.

Galiza Neto, L. S. **Intervenção Tecnológica para Minimização das Externalidades Ambientais Negativas em Lavanderias Industriais na cidade de Toritama-PE**. 2016. 159f Dissertação (Mestrado em tecnologia ambiental), Associação Instituto de tecnologia de Pernambuco, Recife, 2016.

GBL JEANS. Lavadeiras de jeans. 2013. Disponível em: <[http://www.gbljeans.com.br/noticias\\_view.php?cod\\_noticia=4933](http://www.gbljeans.com.br/noticias_view.php?cod_noticia=4933)>. Acesso em 28 out. 2017.

Gerbens-Leenes, P. W.; Lienden, A. R.; Hoekstra, A. Y.; Meer, Th. H. “Biofuel scenarios in a water perspective: The global blue and green water footprint of road transport in 2030”, **Global Environmental Change**, v. 1, n.22, p. 764-775. 2012.

Giacomin, G. S.; Ohnuma, J. R. A. A. “A pegada hídrica como instrumento de conscientização ambiental”, **Monografias Ambientais REMOA/EFSM**, v. 7, n.7, p. 1517–1526, 2012.

Gwozdz, W.; Netter, S.; Bjartmarz, T.; Reisch, L.A. Survey Results on Fashion Consumption and Sustainability among Young Swedes; Report Mistra Future Fashion; Mistra Future Fashion: Borås, Sweden, 2013. 82p.

Hasab, M.G.; Raygan, S.; Rashchi, F. Chloride-hypochlorite oxidation and leaching of refractory sulfide gold concentrate. **Physicochemical Problems of Mineral Processing**. v.49, n.1, p. 61- 70, 2012.

Hoekstra, A. Y. ‘Water neutral: Reducing and offsetting the impacts of water footprints’, Value of Water Research Report Series No 28, UNESCO-IHE, Delft, Netherlands. 2008. Disponível em: <http://waterfootprint.org/media/downloads/Report28-WaterNeutral.pdf> , Acesso em Maio de 2019.

Hoekstra, A. Y. in [Assessing and Measuring Environmental Impact and Sustainability](#), CHAPTER 7 The water footprint of industry . p.221-254. 2015.

Hoekstra, A. Y. The water footprint of animal products The Meat Crisis: Developing More Sustainable Production and Consumption ed J D'Silva and J Webster (London: Earthscan) pp 22–33. 2010.

Hoekstra, A. Y.; Chapagain, A. K., Aldaya, M. M. And Mekonnen, M. M. The water **footprint assessment manual: setting the global standard**. Earthscan, London, UK, 2011. 224 p.

Hoekstra, A. Y.; Mekonnen, M. M. "National water footprint accounts: The green, blue and grey water footprint of production and consumption, Value of Water Research Report Series v. 1, n 50". Delft, the Netherlands: UNESCO-IHE. 2011. 50p.

Hoekstra, A. Y.; Mekonnen, M. M. "The water footprint of humanity", Proceedings of the National **Academy of Sciences** ,v.109, n.9, p. 3232-3237. 2012.

Hoekstra, A. Y.; Chapagain, A. K.; Aldaya, M. M.; Mekonnen, M. M. **The water footprint assessment manual: setting the global standard**. [S.l.]: Earthscan, 2011. 224p.

Hoekstra, A. Y.; Wiedmann. T. O. "Humanity's unsustainable environmental footprint", **Science**, n. 231, v. 344, p.1114-1117. 2014.

Hoekstra, A.Y.; Chapagain, A.K.; Aldaya, M.M.; Mekonnen, M.M. **Water footprint manual: State of the art 2009**, Water Footprint Network, Enschede, the Netherlands, 2009.

Hossain, L. **Water Footprint Assessment of RMG Sector of Bangladesh**. Dissertação de mestrado (Department of Chemical Engineering Bangladesh). 2017. 122p. University of Engineering & Technology Dhaka, Bangladesh. 2017.

ITEP - Instituto Tecnológico do Estado de Pernambuco. 2008. Publicação bimestral da Associação Nacional das Empresas de Lavanderia - ano 32 - nº 186 - março/abril 2009-05-25. Disponível em: <http://www.itep.br/>. Acesso em 18/06/2019.

JeansWear. Vicunha Têxtil e ECOERA se unem no projeto Pegada Hídrica: A Pegada Hídrica tem como objetivo diminuir o impacto ambiental da indústria da moda e promover a transparência no setor. 2019. disponível em: <https://guiajeanswear.com.br/noticias/vicunha-textil-e-ecoera-se-unem-no-projeto-pegada-hidrica/>. Acesso em 20/06/2020.

Joa, B.; Hottenroth, H.; Jungmichel, N.; Schmidt, M. Introduction of a feasible performance indicator for corporate water accounting—a case study on the cotton textile chain. **J. Clean. Prod.** v.82,n. 146, p. 143–153. 2014.

Kant, R. Textile dyeing industry an environmental hazard. **Natural Science**, v. 4, n. 1, p. 22–26, 2012.

Lambooy, T. Corporate social responsibility: sustainable water use. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 8, p. 852-866, 2011.

Lia, H.; Liua, G.; Yanga, Z.; Haoa, Y. Urban Gray Water Footprint Analysis Based on Input-Output Approach. **Energy Procedia**, v. 104, p.118 – 122, 2016.

Lopes, C. S. D. Análise ambiental da fase de acabamento do jeans. **Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade**. v. 6, n. 3, p.87-102 2011.

Lorena, E. M. G.; Santos, I. G. S.; Gabriel, F. A.; Bezerra, A. P. X. G.; Rodriguez, M. A. M.; Moraes, A.S. Analysis of the procedural and wastewater treatment at a beverage bottling industry in the state of Pernambuco, Brazil. **Revista Geama**, v. 2, n. 4, p. 466-472. 2016.

Luongo, T. S.; Lambert, J. P.; Yuan, A.; Zhang, X.; Gross, P. The Mitochondrial Calcium Uniporter Matches Energetic Supply with Cardiac Workload during Stress and Modulates Permeability Transition. **Cell Rep.** v.12, n.1, p.23-34. 2015.

Maracajá, K. F. B.; Silva, V. P. R.; Dantas Neto, J; Araújo, L. E. Pegada Hídrica como Indicador de Sustentabilidade Ambiental. **Revista de Administração, Contabilidade e Sustentabilidade**, v. 2, n. 2. p.113-125, 2012.

Marcelino, D. M. S. 2013. **Avaliação da remoção de cor, matéria orgânica e sulfato de efluente têxtil através de reatores biológicos seqüenciais**. 2013. 71f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Núcleo de Tecnologia do Centro Acadêmico do Agreste, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru- PE.

Marx, Soraya. Um pouco da historia e dos tipos de jeans. Blog Mistureba Chic. Disponível em: <<http://www.misturebachic.com.br/2013/08/um-pouco-da-historia-e-dostipos-de.html>>. Acesso em 02 dez. 2017.

Matharu, G. **O que é design de moda?**. Porto Alegre: Bookman, 2011.120p.

Matos, F. R. N.; Bastos, A. T.; Machado, D. Q. Desenvolvimento local no agreste pernambucano: uma “utopia possível”. **Revista Interações**, v. 15, p. 147 – 157, 2014.

Medeiros , R. M. O balanço hídrico e o aquecimento no município de caruaru – pe, Brasil. **Revista Equador**, v. 7, n. 2, p.126 – 146. 2019.

Mekonnen, M.M.; Hoekstra, A.Y. Global anthropogenic phosphorus loads to fresh water and associated grey water footprints and water pollution levels: A high-resolution global study, **Water Resources Research**, v.51, n.1, p. 345-358.2018.

Mekonnen, M.M.; Hoekstra, A.Y. Global gray water footprint and water pollution levels related to anthropogenic nitrogen loads to fresh water. **Environmental Science & Technology**, v. 49, n. 21, p. 12860-12868.2015.

Mekonnen, M.M.; Hoekstra, A.Y. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.15,n.5, p. 1577-1600. 2011.

Monteiro, A.; E Quesada, E.; Vieira, R. **Estudo Econômico das Indústrias de 1 Confeções de Toritama/PE**. SEBRAE. 2019. 69p.

Muller, G. T. **Emprego da Pegada Hídrica e da Análise de Ciclo de Vida para a Avaliação do Uso da Água na Cadeia Produtiva do Biodiesel de Soja**. 2012. 188f. Dissertação de Mestrado(Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2012.

Myers, C. Manufacturing & Pollution. Retrieved November 21, 2016, from Smallbusiness.chron: <http://smallbusiness.chron.com/manufacturing-pollution-37013.html>.

Nóbrega, R. S.; Farias, R. F. L.; Santos, C. A. C. Variabilidade temporal e espacial da precipitação pluviométrica em Pernambuco através de índices de extremos climáticos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, n. 2, p. 171 – 180. 2015.

Oel, P. R.V.; Hoekstra, A. Y.“Towards quantification of the water footprint of paper: A first estimate of its consumptive component.”**Water Resource Management**, v.11,n.125, p. 9942- 9949. 2012.

Oliveira, F. P. Percepção Ambiental e Gestão do Meio Ambiente de Toritama (PE) – estudo da percepção de diferentes atores sociais sobre o rio Capibaribe. 2009. 140f. Dissertação de mestrado(em Geografia). Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2009.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Disponibilidade hídrica mundial.2015 Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/> . Acesso em: 12 jan. 2017.

Pedrosa, I. V. **Avaliação do processo de lavagem destroyer utilizando em lavanderias do jeans na Cidade de Toritama-PB**. 2006, 122f. Dessertação de mestrado (ITEP/Tecnologia Ambiental) Universidade Federal de Pernambuco. Recife, . 2006.

Pereira, M. M. C. M. S. **Optimização do Tratamento Químico de Água e sua Reutilização usando Nanofiltração**. Porto, 2009. 50f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto.2009.

Platform, S. **Guidelines for Sustainable Agriculture Supply Chain Management**. Sustainable Agriculture Initiative Platform: Australia .2013. 13p.

Polli, A. Gerenciamento de impactos ambientais em lavanderias têxteis. **Revista brasileira de gestão ambiental**. v. 7, n. 2, p. 12 - 18, 2013.

Queiroz, G. M. P.; Silva , M. R.;Rena Bianco, R. J. F.; Pinheiro, A.; Kaufmann, V. Transporte de glifosato pelo escoamento superficial e por lixiviação em um solo agrícola. **Quimica Nova**, v. 34, n. 2, p.190-195, 2011.

Ren, X. Development of environmental performance indicators for textile process and product. **Journal of cleaner production**. v. 8, n.5, p. 473 – 481, 2000.

Richter, B. D. “Re-thinking environmental flows: From allocations and reserves to sustainability boundaries”, **River Research and Applications**, v. 26, n. 8,p.1052– 1063, 2010.

Safaya, S.; Zhang, G.; Mathews, R. **Toward sustainable water use in the cotton supply chain: A comparative assessment of the water footprint of agricultural practices in India**. Water Footprint Network, The Hague, Netherlands / C&A Foundation, Switzerland. 2016. 103p.

Samanta, I.; Siddhartha, N.; Pradip, K.; Palas, D.; Tapas, K. S.; Tapan, K.; Batabyal, S.; Devi, P. Virulence Repertoire, Characterization, and Antibiotic Resistance Pattern Analysis of Escherichia coli Isolated from Backyard Layers and Their Environment in IndiaSore Source: **Avian Diseases**, v.58, n.1, p.39-45. 2014.

Samanta, K.K.; Basak, S.; Chattopadhyay, S.K. Potential of ligno-cellulosic and protein fibres in sustainable fashion. In: Muthu SS, Gardetti MA, editors. Sustainable fibres for fashion industry, **Berlin: Springer**; v. 2, p. 61–110. 2016.

Samanta, K.K.; Gayatri, T.N.; Saxena, S.; Basak, S.; Chattopadhyay, S.K.; Arputharaj, A. Effect of plasma treatment on physico-chemical properties of cotton. **Int J Eng Res Technol**, v.3, n.3, p.2467–77. 2017.

Schwarzenbach, R.P.; Egli, T.; Hofstetter, T.B.; Von Gunten, U.; Wehrli, B. Global Water Pollution and Human Health. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 35, n. 127, p. 109-136. 2010.

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio as Micro e Pequenas Empresas. **Eficiência da Economia e Competitividade da Cadeia Têxtil Brasileira, 2000**. Disponível em: [http://www.sebrae.com.br/br/cooperecrescer/cadeiaproductivas\\_vj..asp/](http://www.sebrae.com.br/br/cooperecrescer/cadeiaproductivas_vj..asp/). Acesso em 26 de dez. 2017.

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio as Micro e Pequenas Empresas. **Eficiência da Economia e Competitividade da Cadeia Têxtil Brasileira, 2007**. Disponível em: [http://www.sebrae.com.br/br/cooperecrescer/cadeiaproductivas\\_vj..asp/](http://www.sebrae.com.br/br/cooperecrescer/cadeiaproductivas_vj..asp/). Acesso em 26 de dez. 2018.

SEBRAE-PE. Serviço de Apoio As Micro e Pequenas Empresas. Lavanderias do Agreste ganham Selo Verde. SEBRAE-PE, 2013. Disponível em: <http://www.pe.agenciasebrae.com.br/noticia.kmf?canal=107&cod=12721380>. Acesso em: 11 out. 2018.

SECRETARIA DE RECURSOS HIDRICOS - SRH. **Plano hidroambiental da bacia hidrográfica do rio Capibaribe: Tomo II - cenários tendenciais e sustentáveis**. Recife, 2010. Disponível em: [http://www.apac.pe.gov.br/down/PHA\\_Capibaribe\\_TOMO\\_V\\_Mapas.pdf](http://www.apac.pe.gov.br/down/PHA_Capibaribe_TOMO_V_Mapas.pdf). Acesso em: 30 julho 2019.

Silva Filho, A. A. **Desenvolvimento de Sistema Simplificado de Gestão ambiental Aplicado a Micro e Pequenas Empresas de Beneficiamento de Jeans**. Recife-PE, 2013. 110f Tese de Doutorado (Engenharia Civil). Universidade Federal De Pernambuco – UFPE, Recife, 2013.

Silva, M. V. A.; Silva, A. L.; Brito, D.J. M.; Branco, D.K. S.; Ferreira, M. O. A questão ambiental no pólo de confecções de caruaru: um primeiro ensaio à luz dos instrumentos econômicos de proteção ambiental. **Revista Estudos do CEPE**, n.35, v. 8, p.108-132, 2012.

Silva, V. P. R.; Aleixo, D. O.; Neto, J. D., Maracajá, K. F. B. ; Araújo, L. E. “Uma medida de sustentabilidade ambiental: pegada hídrica”. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n.1, p.100-105. 2013.

Sindilav. **Cartilha de boas praticas ambientais para lavanderia. Sindicato das Lavanderias e Similares do Rio Grande do Sul**. 1ª Edição – Novembro, 2012. Disponível em: <<http://sindilav.com.br/artigo/cartilha-de-boas-praticas-ambientais-para-lavanderias/>>. Acesso em 11 dez. 2017, 09:02:14.

SINDITÊXTIL. 2017. **Sindicato das Indústrias Têxteis do Estado de São Paulo. Têxtil e confecção: inovar, desenvolver e sustentar / Confederação Nacional da Indústria Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção**. Brasília: CNI/ABIT. Disponível em: <http://www.sinditextilsp.org.br>. Acesso em: 08 ago. 2018.

Sousa Júnior, W. C. D.; Vieira, B. C. Pegada hídrica como indicador: concepções e crítica metodológica. In: JACOBI, P. R.; EMPINOTTI, V. Pegada hídrica: inovação, responsabilização e os desafios de sua aplicação. São Paulo: Annablume, 2012. p. 45 - 62.

Tavares, M.; Arnt, R. “Velha, azul, desbotada... e poluente.” [Online] Disponível em: <http://revistaplaneta.terra.com.br/secao/meio-ambiente/velha-azul-desbotada-e-poluente>. Acessado em: 11 de março de 2019.

Tavella. L.B. ; Silva. I. N.; Fontes. L. O.; Dias. J. R. M.; Silva. M. I. ; O uso de agrotóxicos na agricultura e suas consequências toxicológicas e ambientais. **Agropecuária Científica no Semiárido**. v.7. n.2. p.6-12. 2011.

Teixeira, S. Os perigos dos metais pesados. 2010. Disponível em: <http://www.velhosamigos.com.br/autores/teixeira/teixeira5.html>. Acesso em 28 out. 2019. The Textile Institute Book Series. 2017, p. 319-348.

UNESCO. 2017. United Nations Educational Scientific and Cultural Organization. Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos. Fatos e Números. 12p. Disponível em: <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002475247552por.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2020.

US-EPA, United States Environmental Protection Agency. National Recommended Water Quality Criteria - Aquatic Life Criteria Table. 2018. Disponível em: <<https://www.epa.gov/wqc/national-recommended-water-quality-criteria-aquatic-life-criteria-table#main-content>>. Acesso em: 28 jun. 2019.

Vajnhandl, S.; Valh, J. V. The status of water in European textile sector. **Journal of Environmental Management**. v. 141,n.22, p. 29 - 35, 2014.

Van der Putten, W.H.; Bardgett, R.D.; Bever, J.D.; Bezemer, T.M.; Casper, B.B.; Fukami, T. Plant-soil feedbacks: the past, the present and future challenges. **Journal of Ecology**, v. 101, p. 265– 276. 2013.

Van Oel, P.R.; Krol, M.S.; Hoekstra, A.Y.; De Araujo, J.C. The impact of upstream water abstractions on reservoir yield: the case of the Oro´ s reservoir in Brazil. Hydrological Sciences Journal. **Journal Des Sciences Hydrologiques**. v.53, n.4, p. 857–867. 2008.

Viana, M. A.; Lira, E. B. S.; Coelho, C. P. G.; Bezerra, A. P.X. G.; Lorena, E. M. G.; Holanda, R. M. Pegada hídrica em indústria de beneficiamento de jeans no Agreste Pernambucano. **Journal of Environmental Analysis and Progress**.v. 03, n. 01, p.061-068, 2018.

Viñolas, I.; Marlet, J. Diseño ecológico: hacia un diseño y una producción en armonía con la naturaleza. 1. Ed. Barcelona – ESP: Art. Blume, 2005.201p.

Wang, L.; Ding, X.; Wu, X. Blue and grey water footprint of textile industry in China. **Water Science & Technology**. v.68, n.11, p. 2485-2491. 2013.

WWAP – World Water Assessment Programme. **The United Nations World Water Development Report 3: Water in a Changing World**. WWAP, UNESCO, 2009.50p.

Zaffani, A. G.; Bressiani, D. De A.; Pehovaz-Alvarez, R.; Mendiondo, E. M. A poluição da drenagem urbana relacionada com a pegada hídrica cinza: caso da cidade de São Carlos, SP. **In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Maceió, 2011.

Zanella, G.; Scharf, M.; Vieira, G. A. Peralta-Zamora, P. Tratamento de banhos de tingimento têxtil por processos foto-Fenton e avaliação da potencialidade de reuso. **Química Nova**, v. 33, n. 5. p.1039-1043, 2010.

Zarate, E. “**WFN water footprint sustainability assessment working group final report: A joint study developed by WFN partner**”, Water Footprint Network, Enschede, Netherlands. 2010. 120p.

Zhang, Y.; Kang, H.; Hou, H.; Shao, S.; Sun, X.; Qin, C.; Zhang, S. 'Improved design for textile production process based on life cycle assessment', **Clean Technologies and Environmental Policy**, v.20, n.6,p. 1355–1365. 2018.

## Anexo I. Questionário Técnico

### Questionário de caracterização da empresa

Nome da Empresa \_\_\_\_\_

Tempo de constituição da empresa: \_\_\_\_\_

Número de funcionários: \_\_\_\_\_

Produção mensal: \_\_\_\_\_

Capacidade máxima de produção: \_\_\_\_\_

Equipamentos: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Quanto de água é consumido por dia na lavanderia e por semana?

Qual a quantidade do jeans produzido/tingido na lavanderia por semana?

Quais são os processos/etapas da lavanderia?

Quanto de água é utilizado em cada processo? E por semana?

Em cada processo, quanto de produto é utilizado e a quantidade de jeans?

Quais os principais produtos utilizados no processo de tingimento do jeans ou mesmo nas etapas executadas na lavanderia?

Qual a quantidade de água para cada processo? Qual o processo que mais consome água?

Qual o total de substâncias que é aplicado por semana e qual o nome de cada substância?

Quais são os produtos utilizadas em cada processo por semana?

Dentro desses produtos químicos, quais os mais utilizados? E por quê?

Qual foi a média de produção nos últimos dez anos?

Qual a quantidade média de produtos utilizados em um processo? Quantidade do dia ou uma semana?

Qual a origem da água para a lavagem do jeans?

Para onde vão os dejetos do processo de lavagem do jeans?

A empresa tem opção de produtos alternativos para alguma das etapas do processamento/confecção do jeans?

A empresa possui algum projeto de sustentabilidade? Possui certificação ambiental?

Qual o problema que a empresa enfrenta relacionado á qualidade/disponibilidade de água?

A qualidade da água influencia em algum processo? Vocês fazem análise da água que utilizam?

Observações: