



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

LAURA JULYÊ SALES ALMEIDA

A SUSTENTABILIDADE NAS LAVANDERIAS TÊXTEIS NO
AGRESTE PERNAMBUCANO: UMA INICIATIVA AO
MERCADO DE CRÉDITOS DE CARBONO

RECIFE/PE
AGOSTO/2024

LAURA JULYÊ SALES ALMEIDA

A SUSTENTABILIDADE NAS LAVANDERIAS TÊXTEIS NO
AGRESTE PERNAMBUCANO: UMA INICIATIVA AO
MERCADO DE CRÉDITOS DE CARBONO

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Área de Concentração: Tecnologia e Gestão do Meio Ambiente – Linha de Pesquisa: Controle e Remediação da Poluição.

Orientador: Prof. Dr. Alex Souza Moraes

Coorientador: Prof. Dr. Romildo Morant de Holanda

RECIFE/PE
AGOSTO/2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Bibliotecário(a): Ana Catarina Macêdo – CRB-4 1781

A447s Almeida, Laura Julyê Sales

A sustentabilidade nas lavanderias têxteis no agreste pernambucano: uma iniciativa ao mercado de créditos de carbono / Laura Julyê Sales Almeida. – Recife, 2024.

54 f.; il.

Orientador(a): Alex Souza Moraes.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Recife, BR-PE, 2024.

Inclui referências.

1. Lavanderias e tinturarias 2. Sustentabilidade e meio ambiente 3. Indústria têxtil 4. Créditos de carbono I. Moraes, Alex Souza, orient. II. Título

CDD 628

LAURA JULYÊ SALES ALMEIDA

A SUSTENTABILIDADE NAS LAVANDERIAS TÊXTEIS NO
AGRESTE PERNAMBUCANO: UMA INICIATIVA AO
MERCADO DE CRÉDITOS DE CARBONO

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental, na Área de Concentração: Tecnologia e Gestão do Meio Ambiente – Linha de Pesquisa: Controle e Remediação da Poluição.

Aprovada em 28 de agosto de 2024

Prof. Dr. Alex Souza Moraes (Orientador)
Presidente da Banca e Orientador

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Alberto Antônio da Silva
Instituto Federal de Pernambuco (Campus Ipojuca) - Externo

Prof. Dr. Victor Casemiro Piscoya
Departamento de Tecnologia Rural - DTR (UFRPE) - Interno

AGRADECIMENTOS

À minha família, em especial à minha mãe, Kátia, que esteve presente em toda a minha jornada até aqui.

Ao meu esposo, Arthur Lux, que me ajudou e me deu força e incentivo para que eu não desanimasse do meu objetivo.

Aos meus irmãos, Raphaela e Lucas, e ao meu cunhado, Simeone, que me acompanharam durante essa jornada.

Aos meus amigos, todos os integrantes da Tutoria Max, em especial, Roberto, Edlaine, José Neto, Bianca, Carolina, Helder e Devison, que me apoiaram e incentivaram para que eu fosse até o fim.

Ao meu amigo Lucas que, assim como eu, estava ansioso por esse momento e que foi de grande importância pra mim.

Ao meu orientador e ao meu coorientador, Alex Souza Moraes e Romildo Morant de Holanda, pelos direcionamentos e conteúdos passados durante o período de pós-graduação.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), pela oportunidade de realizar a pós-graduação.

Por fim, agradeço a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a conclusão de mais uma importante etapa profissional na minha vida, a essas pessoas, minha gratidão.

“É triste pensar que a natureza fala e que o ser humano não a ouve”.

(Victor Hugo)

RESUMO

ALMEIDA, Laura Julyê Sales, M.Sc., Universidade Federal Rural de Pernambuco, agosto de 2024. **A Sustentabilidade nas Lavanderias Têxteis no Agreste Pernambucano: Uma iniciativa ao Mercado de Créditos de Carbono.** Orientador: Alex Souza Moraes. Coorientador: Romildo Morant de Holanda.

A sustentabilidade nas lavanderias têxteis tem se tornado um tema crucial, devido aos impactos ambientais associados ao uso intensivo de água, energia e produtos químicos. O setor têxtil, amplamente reconhecido pelo alto consumo de recursos naturais e pela geração de efluentes com significativo potencial poluidor, exige uma abordagem mais rigorosa em relação à sustentabilidade. Nesse contexto, a inserção dessas empresas no mercado de créditos de carbono surge como uma estratégia promissora para alinhar práticas industriais e a mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE). Este estudo tem como objetivo analisar os benefícios da implementação de práticas sustentáveis em lavanderias industriais a partir de um viés mais ambientalista e economicamente atrativo. O método adotado baseia-se na investigação e compilação de práticas sustentáveis adotadas em lavanderia têxtil e discussões das diferentes metodologias que podem ser aplicadas para inserir as lavanderias do Agreste Pernambucano no mercado de créditos de carbono. Identificou-se que a prática sustentável em maior evidência é o uso de estação de tratamento de água ou efluentes, e a segunda prática é o reaproveitamento de lodo residual dessas estações e, que em comparativo, não é adotada em mesma proporção pelas lavanderias, ressaltando a necessidade de pesquisas adicionais sobre as práticas sustentáveis adotadas na região devido a carência de alternativas mais eficientes. Além disso, a escolha da metodologia mais adequada depende do nível de investimento que as empresas estão dispostas a realizar, como por exemplo, metodologias reconhecidamente menos complexas baseadas em processos aeróbicos, ou outras metodologias mais sofisticadas que utilizam a captura e utilização de biogás. Adoção de práticas sustentáveis, alinhadas aos parâmetros dos Mecanismos de Desenvolvimento Limpo, não só é viável, mas também altamente benéfica para as lavanderias têxteis do Agreste Pernambucano. A implementação dessas metodologias permite que as empresas reduzam significativamente suas emissões de GEE, ao mesmo tempo em que se inserem no mercado global com a geração de créditos de carbono, oferecendo uma nova fonte de receita para empresas do Arranjo Produtivo Local Têxtil do estado de Pernambuco.

Palavras-chave: Lavanderias Industriais; Práticas Sustentáveis; Impactos Ambientais; Mecanismo de Desenvolvimento Limpo; Setor Têxtil.

ABSTRACT

ALMEIDA, Laura Julyê Sales, M.Sc., Universidade Federal Rural de Pernambuco, August, 2024. **Sustainability in Textile Laundries in Agreste Pernambucano: An initiative for the Carbon Credit Market.** Adviser: Alex Souza Moraes. Co-adviser: Romildo Morant de Holanda.

Sustainability in textile laundries has become a crucial topic due to the environmental impacts associated with the intensive use of water, energy, and chemicals. The textile sector, widely recognized for its high consumption of natural resources and the generation of effluents with significant polluting potential, requires a more rigorous approach to sustainability. In this context, the integration of these companies into the carbon credit market emerges as a promising strategy to align industrial practices with the mitigation of greenhouse gas (GHG) emissions. This study aims to analyze the benefits of implementing sustainable practices in industrial laundries from a more environmentally conscious and economically attractive perspective. The adopted method is based on the investigation and compilation of sustainable practices in textile laundries and discussions of different methodologies that can be applied to integrate the laundries of Agreste Pernambucano into the carbon credit market. It was identified that the most prominent sustainable practice is the use of water or effluent treatment stations, and the second practice is the reuse of residual sludge from these stations. However, this practice is not adopted to the same extent across laundries, highlighting the need for further research on sustainable practices in the region due to the lack of more efficient alternatives. Moreover, the choice of the most suitable methodology depends on the level of investment that companies are willing to make, such as recognizedly less complex methodologies based on aerobic processes, or other more sophisticated methodologies that use biogas capture and utilization. The adoption of sustainable practices, aligned with the parameters of Clean Development Mechanisms, is not only feasible but also highly beneficial for textile laundries in Agreste Pernambucano. The implementation of these methodologies allows companies to significantly reduce their GHG emissions while entering the global market by generating carbon credits, offering a new revenue source for companies in the Local Textile Productive Arrangement in the state of Pernambuco.

Keywords: Industrial Laundries; Sustainable Practices; Environmental Impacts; Clean Development Mechanism; Textile Sector.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 1 - OS DESAFIOS PARA A SUSTENTABILIDADE NAS LAVANDERIAS TÊXTEIS DO AGRESTE PERNAMBUCANO – BRASIL

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo no Agreste Pernambucano.

Figura 2 - Percentual de remoção de metais nos processos das ETE das lavanderias.

Figura 3 - Gráfico da relação entre a toxicidade e as condições de oxirredução do ambiente.

Gráfico 1 - Número de artigos com palavras-chave no título durante o período entre 2000-2023.

Quadro 1 - Número de lavanderias têxteis cadastradas no Sinditêxtil.

Fluxograma 1 - Processo de beneficiamento do setor têxtil.

CAPÍTULO 2 - AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DA INSERÇÃO DAS LAVANDERIAS TÊXTEIS NO MERCADO DE CRÉDITOS DE CARBONO ATRAVÉS DE MECANISMOS DE DESENVOLVIMENTO LIMPO

Figura 1 - Esquema de Estação de Tratamento de Efluentes em Lavanderias Têxteis.

Figura 2 - Principais etapas de um projeto de MDL.

Figura 3 - Cenário Base conforme apontamento da ACM0014 e AM0080.

Figura 4 - Cenário de Projeto conforme apontamento da ACM0014.

Figura 5 - Cenário de Projeto conforme apontamento da AM0080.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1 - OS DESAFIOS PARA A SUSTENTABILIDADE NAS LAVANDERIAS TÊXTEIS DO AGRESTE PERNAMBUCANO – BRASIL

Tabela 1 - Artigos selecionados contendo informações sobre as práticas sustentáveis realizadas pelas lavanderias do Agreste Pernambucano.

Tabela 2 - Tipos de práticas sustentáveis realizadas pelas lavanderias têxteis.

CAPÍTULO 2 - AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DA INSERÇÃO DAS LAVANDERIAS TÊXTEIS NO MERCADO DE CRÉDITOS DE CARBONO ATRAVÉS DE MECANISMOS DE DESENVOLVIMENTO LIMPO

Tabela 1 - Análise comparativa da aplicabilidade das metodologias *ACM0014* e *AM0080* para lavanderias têxteis.

Tabela 2 - Monitoramento hipotético para Lavanderias Têxteis utilizando *AM0080*.

Tabela 3 - Monitoramento hipotético para Lavanderias Têxteis utilizando *ACM0014*.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACM	<i>Approved Consolidated Methodology</i>
AM	<i>Approved Methodology</i>
CDM	<i>Clean Development Mechanism</i>
CDM-PDD	<i>Clean Development Mechanism-Project Design Document</i>
CO ₂	Dióxido de Carbono
CQNUMC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas
ETAs	Estações de Tratamento de Águas
ETEs	Estações de Tratamento de Efluentes
GEEs	Gases de Efeito Estufa
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
UNFCCC	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	11
2. OBJETIVOS	13
2.1. Objetivo Geral.....	13
2.2. Objetivos Específicos	13
3. REVISÃO DA LITERATURA	14
3.1. Mudanças e Impactos Climáticos	14
3.2. Legislação Ambiental.....	16
3.3. Lavanderias Têxteis e Estações de Tratamento de Efluentes	17
3.4. Mecanismo de Desenvolvimento Limpo e Créditos de Carbono.....	19
4. CAPÍTULO 1 - OS DESAFIOS PARA A SUSTENTABILIDADE NAS LAVANDERIAS TÊXTEIS DO AGRESTE PERNAMBUCANO – BRASIL.....	21
4.1. Resumo	21
4.2. Introdução.....	21
4.3. Metodologia.....	23
4.4. Resultados e Discussões	24
4.4.1. Síntese dos processos	29
4.4.2. Resultados analíticos.....	30
4.5. Conclusão	31
4.6. Referências	32
5. CAPÍTULO 2 - AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DA INSERÇÃO DAS LAVANDERIAS TÊXTEIS NO MERCADO DE CRÉDITOS DE CARBONO ATRAVÉS DE MECANISMOS DE DESENVOLVIMENTO LIMPO.....	36
5.1. Resumo	36
5.2. Introdução.....	36
5.3. Metodologia.....	38
5.4. Resultados e Discussões	42
5.5. Conclusão	46
5.6. Referências	47
6. CONCLUSÕES GERAIS	49
7. REFERÊNCIAS.....	51

1. INTRODUÇÃO GERAL

As lavanderias têxteis desempenham um papel crucial na cadeia produtiva da indústria de vestuário, pois são responsáveis pela realização de diversos processos de acabamento que conferem aos tecidos e roupas características específicas de toque, aparência e funcionalidade. Esses processos incluem a lavagem, tingimento, secagem e outras técnicas de tratamento que melhoram a qualidade dos produtos têxteis. A responsabilidade das indústrias no contexto das mudanças climáticas é um aspecto crucial que merece destaque. A indústria têxtil, em particular, é notoriamente conhecida por seu impacto ambiental significativo. A produção de vestuário envolve o uso intensivo de água, energia e produtos químicos, resultando em poluição hídrica e atmosférica. Além disso, o descarte inadequado de resíduos têxteis contribui para a contaminação dos solos e dos corpos hídricos (Fletcher, 2014).

No âmbito global, iniciativas como a do programa Detox da Greenpeace têm pressionado grandes marcas de moda a eliminar substâncias químicas perigosas de suas cadeias de produção e a adotar práticas mais sustentáveis. No Brasil, algumas empresas têm começado a adotar medidas para reduzir seu impacto ambiental, como o uso de matérias-primas recicladas e o investimento em tecnologias de tratamento de efluentes. No entanto, ainda há um longo caminho a percorrer para que a sustentabilidade se torne uma prática comum na indústria têxtil brasileira (Greenpeace, 2019).

Nesse contexto, refletindo sobre o campo das lavanderias têxteis industriais, identificamos que elas representam um componente essencial na cadeia de serviços e na economia contemporânea, desempenhando um papel crucial na limpeza e conservação eficiente de tecidos e roupas. Estes estabelecimentos são caracterizados pela utilização de tecnologias avançadas e processos especializados, voltados não apenas para a remoção de sujeiras e manchas, mas também para a preservação da integridade dos materiais têxteis (Slack *et al.*, 2018).

Nesse advento, não podemos negligenciar os desafios ambientais inerentes às atividades das lavanderias têxteis industriais. Com o aumento da conscientização sobre a sustentabilidade, essas indústrias enfrentam desafios significativos para reduzir o impacto ambiental de suas operações. A utilização intensiva de água e energia, juntamente com o emprego de produtos químicos para a limpeza de tecidos, levanta preocupações sobre a pegada ecológica dessas atividades. Além disso, a gestão inadequada dos efluentes gerados durante o processo de lavagem pode resultar em contaminação de corpos hídricos, afetando negativamente a

biodiversidade aquática e a qualidade da água disponível para consumo humano e agrícola.

A adoção de práticas sustentáveis é, portanto, uma necessidade urgente no setor das lavanderias têxteis industriais. Além disso, essas práticas sustentáveis representam uma oportunidade significativa para a inclusão das indústrias têxteis no mercado de créditos de carbono, possibilitando que essas empresas monetizem suas reduções de emissões e invistam ainda mais em tecnologias verdes. Ademais, a inovação tecnológica desempenha um papel crucial ao possibilitar o desenvolvimento de equipamentos mais eficientes e menos poluentes.

O mercado de créditos de carbono, nesse sentido, apresenta aspectos positivos que valem ser destacados, conforme argumentado por Kruse (2023). Em primeiro lugar, este mecanismo econômico oferece uma alternativa viável e financeiramente vantajosa para a mitigação das mudanças climáticas, incentivando empresas e países a adotarem práticas mais sustentáveis. A valorização crescente do preço do carbono, especialmente após a pandemia de COVID-19, demonstra o potencial de crescimento e fortalecimento desse mercado, indicando uma maior conscientização global sobre a importância da preservação ambiental. Além disso, o mercado de créditos de carbono promove a transferência de tecnologia e investimentos em energias limpas e projetos de reflorestamento, contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa. Por fim, o desenvolvimento desse mercado pode também estimular políticas públicas mais eficientes e a cooperação internacional, fundamentais para a implementação de soluções integradas e eficazes no combate às mudanças climáticas (Kruse, 2023).

Dessa forma, as lavanderias têxteis industriais devem se posicionar na busca pela sustentabilidade, alinhando-se às demandas contemporâneas por práticas ambientais responsáveis. Essas indústrias não apenas podem contribuir para a preservação do meio ambiente, como também fortalecer sua competitividade no mercado global. A transição para modelos de negócios sustentáveis é, portanto, não apenas uma exigência ética, mas também uma oportunidade estratégica para a inovação e o crescimento sustentável no setor têxtil.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Analisar os benefícios na implementação de práticas sustentáveis nas lavanderias têxteis do Agreste Pernambucano, com foco na viabilidade de inserção dessas empresas no mercado de créditos de carbono através de parâmetros dos Mecanismos de Desenvolvimento Limpo, promovendo a redução das emissões de gases de efeito estufa.

2.2. Objetivos Específicos

1. Identificar as práticas atualmente adotadas no tratamento de efluentes e manejo de resíduos nas lavanderias têxteis no Agreste Pernambucano, identificando oportunidade de melhorias sustentáveis;
2. Investigar através dos mecanismos de desenvolvimento limpo a ideal abordagem para os cenários de emissão real de CO₂ e de emissão de projeto para o setor têxtil;
3. Propor um modelo de certificação para inserção das lavanderias têxteis do Agreste Pernambucano no mercado de créditos de carbono, detalhando os requisitos e benefícios para as empresas.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. Mudanças e Impactos Climáticos

Considerando o escopo das últimas décadas, é inegável a relação antrópica no que diz respeito aos impactos ambientais e às consequentes alterações da dinâmica da paisagem. Seja pelo desenvolvimento advindo da utilização de novas tecnologias, pela nova dinâmica demográfica ou pelo desenfreado uso dos recursos naturais, lidamos hoje com alterações significativas da paisagem. Essas alterações da paisagem, bem como outras ocorrências no planeta, afetam diretamente o fenômeno do efeito estufa, que inicialmente é de ocorrência natural, mas que tem seus efeitos cada vez mais perceptíveis no aquecimento do planeta, especialmente nas últimas décadas. Diretamente ligados, a combustão de petróleo, carvão e outros derivados que emitem gases como o monóxido de carbono, altamente prejudiciais (Karolides, 2011; Brasil, 2019; Kozloski, 2020).

De acordo com Dalazen *et al.* (2022), medidas ligadas ao uso de recursos mais sustentáveis para reduzir a emissão dos gases poluentes são mais do que necessárias na atualidade, justificando investimento em novas práticas por parte das indústrias. Um estudo indicado pelo Painel Intergovernamental para a Mudança de Clima (IPCC) (2023), sinaliza que até as comunidades que menos contribuíram historicamente para a mudança atual do clima estão vulneráveis e sendo afetadas de forma desproporcional, sendo esta uma das principais características dos extremos climáticos e meteorológicos que ocorrem em todas as regiões do mundo.

É indiscutível a influência humana que provocou o aquecimento da atmosfera, bem como alterou os oceanos e a terra. O nível médio global do mar aumentou em 0,20 m entre 1901 e 2018, e a taxa média de elevação do nível do mar mais do que dobrou com relação ao comparativo entre períodos anteriores. A influência humana foi muito provavelmente o fator principal destes aumentos, sendo esta provavelmente responsável pelo aumento da probabilidade de eventos extremos desde a década de 1950, incluindo aumentos na frequência de ondas de calor e secas simultâneas (IPCC, 2023).

O cenário nacional não difere da realidade enfrentada globalmente, já que no Brasil as regiões apresentam contexto climáticos e socioambientais de característica heterogênea, isto é, há diferentes realidades enfrentadas nos extremos do país, no entanto, em ambas as situações há o enfrentamento dos impactos e mudanças climáticas. Nesse contexto, estudos já identificaram que a atividade humana foi uma das principais causas para os episódios de secas

da Amazônia e igualmente responsável pelas precipitações intensas ocorridas no Nordeste (Ribeiro *et al.* 2022; Zachariah *et al.* 2022; Pereira; Rodriguez, 2022).

Outro aspecto que merece atenção especial no Brasil é a questão da demanda hídrica. O país, embora possua uma das maiores reservas de água doce do mundo, enfrenta desafios significativos em relação à gestão sustentável deste recurso vital. A utilização intensiva da água pela indústria têxtil, por exemplo, é um fator de preocupação, pois o setor consome grandes volumes de água tanto no cultivo de matérias-primas, como o algodão, quanto nos processos de tingimento e acabamento dos tecidos (Abranches, 2017).

O cenário é agravado pela má distribuição dos recursos hídricos e pela vulnerabilidade de algumas regiões a eventos climáticos extremos, como secas prolongadas e chuvas intensas. A região Sudeste, por exemplo, tem enfrentado crises hídricas recorrentes, que impactam não apenas o abastecimento urbano, mas também a produção industrial (MMA, 2019). Neste contexto, é crucial que políticas públicas sejam desenvolvidas para promover o uso eficiente da água e a adoção de tecnologias de reuso e tratamento de efluentes, especialmente nas indústrias de alto consumo hídrico.

Diante dessa realidade, é imprescindível considerar a implementação de políticas públicas eficazes que incentivem a adoção de práticas sustentáveis. A promoção de tecnologias limpas, o fortalecimento da educação ambiental e a criação de incentivos fiscais para empresas que investem em sustentabilidade são estratégias fundamentais para mitigar os efeitos das mudanças climáticas. Estudos recentes demonstram que a transição para uma economia de baixo carbono não apenas contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa, mas também pode impulsionar o desenvolvimento econômico, criando empregos verdes e promovendo a inovação tecnológica (Sachs, 2015).

A resiliência das comunidades locais também deve ser fortalecida por meio de estratégias de adaptação que levem em conta as especificidades regionais. No Brasil, por exemplo, a implementação de sistemas agroflorestais na Amazônia pode contribuir para a recuperação de áreas degradadas, ao mesmo tempo em que promove a segurança alimentar e gera renda para as populações locais (Nobre *et al.*, 2016). No semiárido nordestino, tecnologias de captação e armazenamento de água, aliadas a práticas agrícolas sustentáveis, são essenciais para enfrentar as frequentes secas e garantir a subsistência das comunidades rurais (Marengo; Valverde, 2007).

Portanto, a gestão sustentável da água deve ser integrada às estratégias de mitigação das mudanças climáticas e de promoção da sustentabilidade industrial. Apenas com uma abordagem holística, que considere todos os aspectos do uso dos recursos naturais, será possível garantir a

preservação ambiental e o desenvolvimento econômico de forma equilibrada e duradoura.

3.2. Legislação Ambiental

Conforme a Lei nº 9.605/1998, conhecida como Lei de Crimes Ambientais voltada para a proteção do meio ambiente. É imprescindível a obrigatoriedade na reparação de danos causados por práticas desde a poluição até o desmatamento ilegal, estabelecendo sanções penais e administrativas para essas infrações ambientais, consolidando-se como um instrumento vital para a preservação dos recursos naturais e para a promoção de um desenvolvimento econômico sustentável (Brasil, 1998).

São enquadrados como crimes ambientais, a poluição de corpos hídricos ou o descarte inadequado de resíduos (Brasil, 1998). Os corpos hídricos também estão acobertados através da Lei da Política Nacional de Recursos Hídricos nº 9.433/1997, que estabelece que a água é um recurso público e de uso comum, devendo ser gerido de maneira integrada e descentralizada, com a participação do poder público, dos usuários e da sociedade civil. A lei também introduz o princípio da outorga do direito de uso dos recursos hídricos, garantindo que o uso da água seja realizado de forma sustentável, evitando a degradação dos corpos hídricos e assegurando a disponibilidade desse recurso para as gerações futuras (Brasil, 1997).

Já a Resolução CONAMA nº 430/2011, atua impondo limites específicos para diversos parâmetros presentes em indústrias, como DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) de até 60 mg/L para que seja permitido seu lançamento em corpos d'água, pH entre 5 e 9 nos efluentes, limite máximo para óleos e graxas de 20 mg/L, e concentrações de metais pesados, visando à preservação dos recursos hídricos (Brasil, 2011).

A Instrução Normativa CPRH nº 003/2022 estabelece diretrizes específicas para o licenciamento ambiental e a operação das indústrias de beneficiamento têxtil em Pernambuco, incluindo as lavanderias têxteis, detalhando os procedimentos necessários para o tratamento de efluentes industriais, enfatizando a importância de sistemas de tratamento eficientes que atendam aos padrões ambientais vigentes, como os estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 430/2011. Inclusive, exige que as empresas possuam sistemas de monitoramento contínuo das emissões atmosféricas e do tratamento de efluentes, além do gerenciamento de resíduos sólidos, impondo a necessidade de segregação e disposição adequada desses materiais em conformidade com as normas técnicas da ABNT NBR 10004:2004 – Resíduos Sólidos, que cita critérios rigorosos para a classificação de resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública. Essa norma classifica os resíduos em três categorias principais:

resíduos perigosos (Classe I), não perigosos não inertes (Classe II-A) e não perigosos inertes (Classe II-B) (ABNT, 2004).

3.3. Lavanderias Têxteis e Estações de Tratamento de Efluentes

A operação de uma lavanderia industrial têxtil envolve diversas etapas complexas e meticulosas. Desde a recepção das peças até a sua devolução aos clientes, são aplicados métodos específicos de triagem, lavagem, secagem e acabamento, e esses processos podem conter uma variedade de contaminantes, como detergentes, solventes, óleos e resíduos orgânicos, provenientes dos tecidos e das operações de limpeza. Utilizando-se de equipamentos de alta capacidade e produtos químicos adaptados às exigências de diferentes tipos de tecidos, é possível realizar o tratamento adequado à demanda da lavanderia (Chase *et al.*, 2012). Este processo garante resultados consistentes e satisfatórios, atendendo às expectativas de qualidade dos consumidores e das indústrias que demandam esses serviços.

Além do aspecto técnico-operacional, as lavanderias industriais têxteis desempenham um papel significativo na economia ao gerar empregos diretos e indiretos, contribuindo para a estabilidade econômica local (Stevenson, 2001).

No contexto ambiental, as lavanderias industriais enfrentam desafios relacionados ao consumo de recursos naturais, como água e energia. No entanto, muitas empresas têm adotado práticas sustentáveis, investindo em tecnologias mais eficientes e na redução do impacto ambiental de suas operações (Walker *et al.*, 2014). Isso inclui o uso de sistemas de reuso de água, o emprego de detergentes biodegradáveis e a implementação de processos que visam minimizar o desperdício e as emissões de gases de efeito estufa.

A complexidade das operações de tratamento varia conforme o porte e a capacidade da lavanderia industrial, mas os princípios fundamentais incluem a separação dos sólidos, a neutralização de pH, a oxidação de compostos orgânicos e a desinfecção para garantir que os efluentes tratados estejam em conformidade com os padrões ambientais estabelecidos (Metcalf & Eddy, 2014).

As estações de tratamento das lavanderias industriais são essenciais para gerenciar os efluentes gerados durante o processo de lavagem e acabamento dos tecidos. As ETAs são responsáveis por purificar a água utilizada, removendo contaminantes e permitindo seu reuso ou descarte seguro no meio ambiente. De acordo com Metcalf & Eddy (2003), o tratamento de efluentes em lavanderias industriais passa por várias etapas, incluindo filtração, coagulação,

floculação, decantação e desinfecção. Cada etapa visa remover diferentes tipos de impurezas, como partículas sólidas, metais pesados, produtos químicos e matéria orgânica, garantindo que a água tratada atenda aos padrões ambientais estabelecidos.

Com isso, conforme Viana (2019) aponta, essas etapas podem ser divididas em quatro fases principais durante os processos nas lavanderias: pré-tratamento, tratamento primário, tratamento secundário e tratamento terciário ou de polimento. O pré-tratamento é focado na remoção de sólidos grosseiros e graxas, utilizando métodos físicos como gradeamento e desarenação, para evitar obstruções nos equipamentos subsequentes. No tratamento primário, processos físico-químicos são aplicados para neutralizar cargas e elevar o pH, facilitando a coagulação e floculação dos contaminantes, que são depois removidos por decantação e filtração. Esta fase visa remover materiais flutuantes, sedimentáveis e óleos não retidos no pré-tratamento.

O tratamento secundário envolve processos bioquímicos aeróbicos e anaeróbicos para a degradação da matéria orgânica remanescente. Este processo resulta em substâncias menos poluentes, como CO₂ e material celular, e inclui a decantação secundária para a remoção do lodo biológico. Por fim, o tratamento terciário ou de polimento utiliza técnicas como filtração, cloração e ozonização para remover quaisquer poluentes restantes e ajustar a qualidade da água para sua reutilização ou descarte seguro nos corpos hídricos. Este último estágio é crucial para garantir que os efluentes atendam aos padrões ambientais exigidos pela legislação (Viana, 2019).

A implementação das ETAs eficientes não só minimiza o impacto ambiental, mas também proporciona benefícios econômicos significativos. A reutilização da água tratada pode resultar em economias consideráveis de recursos hídricos e financeiros, especialmente em um cenário de escassez de água (Henze *et al.*, 2008). Empresas que adotam práticas de tratamento de efluentes podem reduzir significativamente o consumo de água nova, diminuindo também os custos operacionais e o consumo de energia (Tchobanoglous; Burton; Stensel, 2003). Além disso, seguir as regulamentações ambientais, como a Resolução CONAMA nº 430/2011, é crucial para garantir a sustentabilidade das operações industriais e evitar sanções legais.

Notoriamente, as ETAs são fundamentais para proteger os recursos hídricos e promover a responsabilidade socioambiental das lavanderias industriais. O uso de tecnologias avançadas de tratamento de água, aliado à conformidade com as normas ambientais, assegura que as operações dessas lavanderias sejam sustentáveis e ecologicamente corretas. E que, portanto, a sequência de processos, desde a decomposição biológica até a clarificação e a remoção de lodo, é crucial para assegurar que o efluente atenda aos padrões de qualidade necessários para o

descarte seguro.

3.4. Mecanismo de Desenvolvimento Limpo e Créditos de Carbono

Estabelecido pelo Protocolo de Kyoto em 1997, o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), visa auxiliar os países no cumprimento de suas metas de redução de emissões. Os créditos de carbono gerados por projetos de MDL podem, de forma voluntária, ser comercializados por empresas e indivíduos que buscam compensar suas próprias emissões de CO₂. Esta comercialização de créditos oferece uma oportunidade para a compensação e busca mitigar a emissão desses gases e promover o desenvolvimento sustentável em nível local.

No âmbito do MDL, cada tonelada de CO₂ reduzida ou removida da atmosfera equivale efetivamente a uma unidade de crédito de carbono, que é denominada Redução Certificada de Emissão (RCE). Estas RCEs podem ser adquiridas por empresas, indústrias ou países que não conseguiram atingir suas metas de emissão de CO₂, sendo a função das metodologias que possibilitam esta certificação, fácil de entender, mas, as metodologias em si podem ser bem complexas, pois são necessariamente diversas em sua composição e a aplicação para acomodar a ampla gama de atividades possui complexidade devido às exigências requeridas para certificação.

A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (CQNUMC - em inglês, *United Nations Framework Convention on Climate Change UNFCCC*), é destinada a financiar projetos e programas de adaptação em países em desenvolvimento que são particularmente vulneráveis aos impactos adversos das mudanças climáticas. O Fundo de Adaptação é sustentado por uma taxa de 2% sobre as RCEs emitidas pelo MDL, o que assegura recursos contínuos para apoiar iniciativas de adaptação nesses países (United Nations, s.d).

Para a aprovação de um projeto para certificação, existem várias etapas rigorosas conforme estabelecido pelas modalidades e procedimentos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Inicialmente, os participantes do projeto devem preencher o formulário de Documento de Concepção do Projeto (CDM-PDD), desenvolvido pela Diretoria Executiva da CQNUMC, este documento deve incluir todas as informações relevantes sobre o projeto proposto. Além disso, qualquer nova metodologia de linha de base ou de monitoramento deve ser submetida por uma entidade operacional designada para revisão e aprovação pela Diretoria Executiva antes da validação e submissão do projeto para registro (United Nations, s.d).

Uma vez que uma metodologia aprovada esteja disponível, a entidade operacional designada pode proceder com a validação da atividade do projeto MDL e submeter o CDM-

PDD com um pedido de registro. Nesse processo, é essencial que o participante do projeto obtenha uma carta de aprovação da Parte envolvida, indicando que o país ratificou o Protocolo de Kyoto, que a participação é voluntária e, no caso de países anfitriões, que a atividade do projeto MDL proposto contribui para o desenvolvimento sustentável (United Nations, s.d).

A validação do documento de concepção do projeto é realizada por uma entidade operacional designada e acreditada, que é um certificador privado de terceira parte. A validação envolve uma avaliação independente da atividade do projeto contra os requisitos do MDL, conforme estabelecido nas modalidades e procedimentos do MDL e nas decisões relevantes das Partes do Protocolo de Kyoto e da Diretoria Executiva do MDL. Após a validação, o projeto é submetido pela entidade operacional designada à Diretoria Executiva do MDL com um pedido de registro. O registro é a aceitação formal de um projeto validado como uma atividade de projeto, sendo um pré-requisito para a verificação, certificação e emissão de Reduções Certificadas de Emissões (RCEs) relacionadas àquela atividade de projeto (United Nations, s.d).

Portanto, o MDL não apenas contribui para a redução global das emissões de gases de efeito estufa e a promoção do desenvolvimento sustentável, mas também desempenha um papel crucial no financiamento de esforços de adaptação em regiões do mundo que enfrentam desafios significativos devido às mudanças climáticas.

Assim, o MDL não apenas contribui para a redução global das emissões de gases de efeito estufa e a promoção do desenvolvimento sustentável, mas também incentiva investimentos em projetos que contribuem para o desenvolvimento sustentável, cumprindo um papel crucial no financiamento de esforços de adaptação em regiões do mundo que enfrentam desafios significativos devido às mudanças climáticas, criando uma plataforma para a geração de valor ambiental e econômico em diferentes regiões ao redor do mundo (Rezende *et al.*, 2017).

4. CAPÍTULO 1 - OS DESAFIOS PARA A SUSTENTABILIDADE NAS LAVANDERIAS TÊXTEIS DO AGRESTE PERNAMBUCANO – BRASIL

4.1. Resumo

O setor têxtil é um segmento que demanda grandes recursos naturais e consome produtos com notório potencial poluidor. Desde o consumo elevado de água e muitos produtos químicos, de madeira pelas caldeiras, e material flocculante nas suas próprias estações de tratamento de efluentes, que nem sempre lançam material satisfatoriamente tratado. O estudo da sustentabilidade é importante para mensurar e tentar minimizar o impacto ambiental causado por práticas que negligenciam o meio ambiente causando danos aos corpos hídricos próximos às lavanderias têxteis. Assim, este trabalho teve como objetivo a investigação e compilação de práticas sustentáveis adotadas para o setor têxtil, que podem colaborar com a melhoria da qualidade do Arranjo Produtivo Local Têxtil do estado de Pernambuco. De acordo com os resultados obtidos em com as observações na área, as estações de tratamento de efluentes constituem o maior desafio na adequação das lavanderias têxteis aos limites legais. Uma vez que o grande volume de material descartado não consegue ser tratado por limitações físicas de infraestrutura na grande maioria dos empreendimentos. Outro resultado preocupante observado é oriundo da grande escassez hídrica sofrida pela região do Polo Têxtil, que compete diretamente com a população na utilização de água de consumo humano que é inevitavelmente desviada para os processos industriais. Esse estudo contém perspectivas realísticas e atualizadas acerca de possíveis propostas de soluções para as práticas que possam minimizar o impacto ambiental provocado pelas lavanderias têxteis. Além da falta de investimento em processos, procedimentos e culturas desde a segurança de trabalho, substituição da matriz energética e também capacitação da mão-de-obra, o caminho para uma produção mais limpa neste setor ainda é um grande desafio da gestão local.

Palavras-chave: Lavanderias Têxteis; Práticas Sustentáveis; Impactos Ambientais.

4.2. Introdução

Em termos de escala global, as mudanças climáticas, como apontam Souza e Corazza (2017), possuem características que tornam difícil a identificação de um responsável direto, pois os problemas enfrentados ocorrem de forma multidirecional, o que inviabiliza caracterizar um poluidor que pague pelas consequências da poluição disseminada. Nesse contexto, pode-se

observar que, antes das consequências climáticas, havia uma visão única e focada em exploração de recursos naturais sem controle, priorizando unicamente o crescimento empresarial e descartando a preocupação para com o meio ambiente (Vieira *et al.*, 2018).

A necessidade em mitigar os efeitos do aquecimento global é uma preocupação internacional evidente no aspecto de preservação ambiental e de saúde pública. No Brasil, observa-se que um dos setores que devem considerar estudos e aplicações para realização de serviços que mitigam os efeitos da poluição e, conseqüentemente as mudanças climáticas, é o setor de produtos têxteis, que iniciou suas atividades no período colonial, que adquire maior relevância posteriormente, na década de 40, quando sua produção se destaca mundialmente (Costa, A., 2008; Kon; Coan, 2009; Silva; Menelau; Ribeiro, 2021).

O setor têxtil possui um alto consumo de água e produtos químicos para operabilidade das lavanderias, a exemplo no processo de beneficiamento de peças jeans em que os efluentes podem variar entre 50.000 a 300.000 litros por dia. Além disso, a presença de corantes sintéticos degrada corpos hídricos receptores, considerando que naturalmente a insolubilidade do composto faz com que sua dissipação ocorra muito lentamente (Peralta-Zamora *et al.*, 2002; Arslan-Alaton, Alaton, 2007; Costa, A., 2008).

Na fase de tingimento de peças têxteis as implicações no uso desses corantes é um aspecto preocupante. Muitos possuem íons metálicos ligados à sua estrutura, ou seja, metais pesados, que provocam o aumento na poluição de efluentes não sendo biodegradáveis e apresentando grande toxicidade (Souto, 2017). De acordo com a Resolução CONAMA n. 430, de 2011, “os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos” (Brasil, 2011).

No entanto, o lodo proveniente do tratamento de efluente das lavanderias de beneficiamento têxtil depois da fase de secagem, é ensacado e posteriormente armazenado até que uma quantidade substancial seja acumulada. Quando não transportado e descartado corretamente causa impactos ambientais, sendo sugerido que seja descartado em um aterro sanitário industrial ou reutilizado (Santos, B., 2023).

Os efluentes da indústria têxtil também apresentam, além do alto consumo de água e corantes citados, temperatura elevada, grande quantidade de sólidos suspensos, consideráveis quantidades de compostos clorados e surfactantes (Metcalf & Eddy, 2003; Costa, A., 2008).

Apesar do considerável potencial poluente da área, a indústria têxtil e de confecção no Brasil destaca-se como a maior cadeia têxtil completa do Ocidente, com quase 200 anos de existência no país. Essa longa trajetória posiciona o Brasil como uma referência global em

jeanswear e, em termos de geração de empregos, o setor contribuiu significativamente com 1,34 milhão de postos de trabalho diretamente ligados à indústria têxtil, sendo que 60% dessas vagas foram ocupadas por mulheres (Cavalcanti, 2014; ABIT, 2024).

O Agreste Pernambucano desempenha um papel significativo nessas estatísticas, especialmente com a produção de roupas jeans em Toritama, reconhecida como uma Matriz Econômica Nacional, sendo responsável por cerca de 20% da produção e venda de jeans no Brasil, em conjunto com as cidades de Santa Cruz do Capibaribe e Caruaru, Toritama impulsiona a economia em uma extensão de 500 quilômetros beneficiando famílias em quatro estados do Nordeste (Freitas, 2023).

Utilizar metodologias sustentáveis também impacta financeiramente o setor comercial, considerando que a solução para mitigação desses efeitos deve manter a qualidade e o custo na fabricação. Nesse contexto, destaca-se a importância de reconfigurar negócios tradicionais, que priorizam apenas o lucro. A busca pelo equilíbrio entre os aspectos econômicos, sociais e ambientais é fundamental para a sustentabilidade empresarial (Silva; Menelau; Ribeiro, 2021).

4.3. Metodologia

A partir dos objetivos estabelecidos nesta pesquisa, utilizou-se a metodologia de revisão bibliográfica com viés qualitativo, que segundo Gil (2002), é mais flexível e exploratória, permitindo uma compreensão mais rica e detalhada dos fenômenos estudados, envolvendo a coleta de dados por meio de técnicas como entrevistas, observações participantes e análise de documentos, visando capturar a complexidade e a variedade das experiências humanas.

Considerando que todos os processos permitem a análise de redução dos impactos ambientais e consumo hídrico promovidos pelo setor têxtil, utilizou-se duas bases de dados, Google Acadêmico e Periódicos CAPES, para comparar práticas sustentáveis adotadas por lavanderias têxteis em âmbito global e as praticadas nas lavanderias têxteis do arranjo produtivo do Agreste de Pernambuco.

Essa revisão é importante pois, conforme afirma Gil (2002), ao realizar uma pesquisa, o fornecimento e a avaliação do conhecimento prévio podem conduzir a uma aplicação prática imediata. Isto é, na articulação de conhecimentos teóricos que auxiliarão diretamente o projeto em estudo.

Para compreender o cenário em estudo, adota-se a abordagem de Lima (2014) e Lira (2019), que coletaram dados no Sindicato da Indústria de Fiação e Tecelagem em Geral do

Município de Caruaru, onde constataram que existem 73 lavanderias cadastradas. Para além do Município de Caruaru, Costa *et al.* (2014) e Lima (2014) coletaram dados com o Sindicato de Indústria Têxtil de Pernambuco, identificando que existem 145 lavanderias no Agreste Pernambucano, considerando os municípios de Caruaru, Toritama, Riacho das Almas e Santa Cruz do Capibaribe, conforme Quadro 1. Esses dados desconsideram as lavanderias que operam irregularmente.

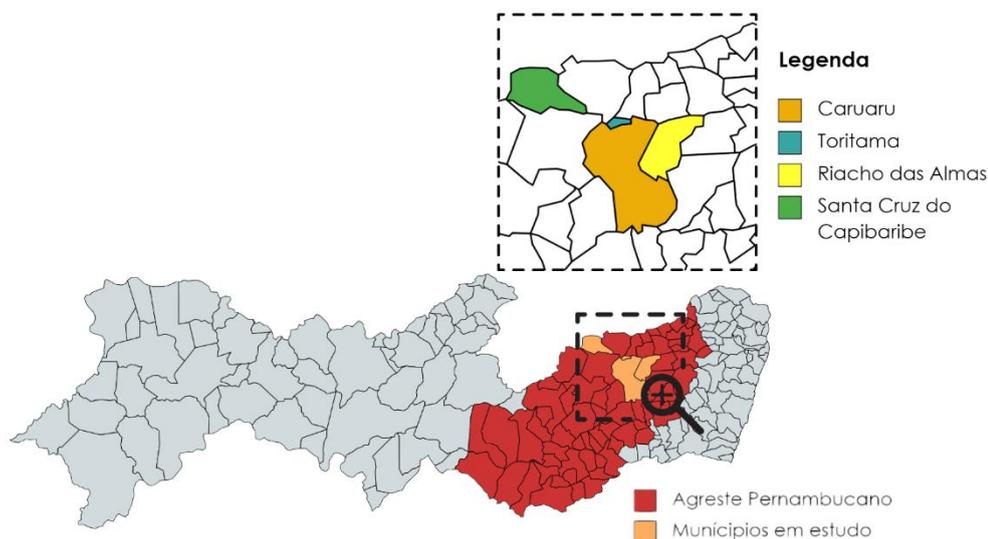
Quadro 1 - Número de lavanderias têxteis cadastradas no Sinditêxtil.

Município de localização	Número de lavanderias cadastradas
Caruaru	73
Toritama	48
Riacho das Almas	23
Santa Cruz do Capibaribe	01
Total de lavanderias	145

Fonte: Adaptado (Lima, 2014; Costa *et al.*, 2014; Lira, 2019).

Ainda de acordo com o Quadro 1, foram sinalizados os municípios localizados no Agreste Pernambucano, onde na Figura 1 o recorte foi realizado para maior compreensão do espaço em estudo.

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo no Agreste Pernambucano.



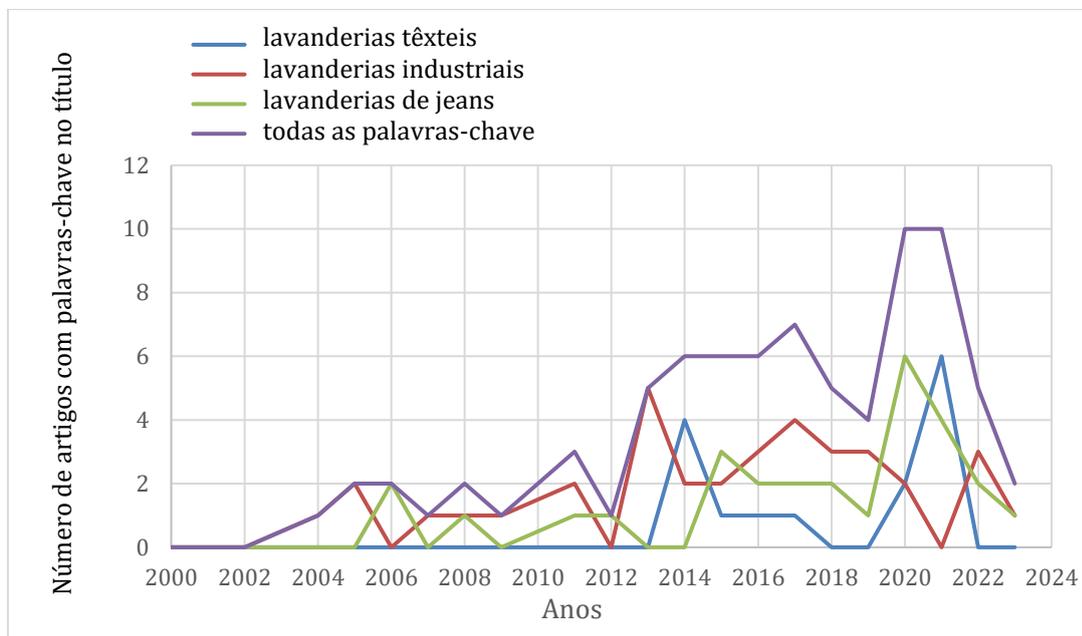
Fonte: Autora (2024).

4.4. Resultados e Discussões

Estes dados foram obtidos através da base de dados do Google Acadêmico e Periódicos CAPES em 26 de dezembro de 2023 usando respectivamente as palavras-chave: “lavanderias

têxteis”, “lavanderias industriais” e “lavanderias de jeans” como termos de pesquisa no título no período entre 2000-2023, conforme indicado no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Número de artigos com palavras-chave no título durante o período entre 2000-2023.



Fonte: Autora (2024).

Analisando o Gráfico 1, o número de artigos com palavras-chave no título abordando o tema de lavanderias não é muito expressivo, considerando o tempo de existência das indústrias de lavanderias têxteis. Anualmente de 2000 até 2012 havia uma média de menos de 2 a 3 artigos ao ano, a mudança é identificada a partir de 2013 em que há um aumento, recaí em 2019 e logo volta a crescer em 2020 (período pandêmico), para em 2022 os números de produção de artigos com essas palavras-chave no título diminuírem novamente.

A palavra-chave “lavanderia têxtil” também foi utilizada como termo de pesquisa, no entanto, observou-se que foram encontradas 27 referências que não traziam ligação com o tema necessário para avaliação deste trabalho, e que por essa razão, a palavra-chave foi descartada do nicho de pesquisa, já que observou-se que, os termos no plural possuíam maior aderência ao título proposto e que realizavam pesquisas de dados pertinentes ao estudo.

Os artigos selecionados possuem intervalo de nove anos entre 2014-2023, para evitar dados desatualizados. Com isso, os artigos dos intervalos de 2000-2023 que apresentavam as palavras-chave “lavanderias têxteis”, “lavanderias industriais” e “lavanderias de jeans” apresentaram, respectivamente, 15, 35 e 29 referências.

Com essa filtragem, passou-se a observar os resumos e a metodologia utilizada em cada um dos trabalhos, desta forma, só foram utilizados os artigos que possuíam dados de pesquisa

das práticas de lavanderias do Agreste Pernambucano, restando as referências indicadas na Tabela 1, onde para “lavanderias têxteis” foram selecionadas 3 referências, para “lavanderias industriais” foi apenas selecionada 1 referência e para “lavanderias de jeans” foram selecionadas 6 referências.

Tabela 1 - Artigos selecionados contendo informações sobre as práticas sustentáveis realizadas pelas lavanderias do Agreste Pernambucano.

Referência	Título	Tipos de práticas
Lima (2014)	<i>Custos ambientais e a externalidade negativa das lavanderias têxteis do Polo de Confecções do Agreste de Pernambuco.</i>	45 lavanderias: 77,8% tem ETAs; 2,2% reaproveita lodo residual; 64,44% realizam manutenção de máquinas.
Costa et al. (2014)	<i>Um estudo quanto a possível redução dos custos operacionais nas lavanderias têxteis que adotam processos sustentáveis.</i>	2 lavanderias: 50% tem ETAs; todas realizam manutenção de máquinas.
Cavalcanti (2015)	<i>Roteiro metodológico de tomada de decisões para o incremento do desempenho ambiental de lavanderias têxteis.</i>	2 lavanderias: Todas possuem ETAs; 50% reaproveita lodo residual; todas realizam manutenção de máquinas.
Silva, A. (2017)	<i>A configuração da gestão sustentável e os desafios a sua implementação em lavanderias de beneficiamento de jeans.</i>	1 lavanderia de Caruaru: Gerenciamento de resíduos sólidos; possui ETE; realiza manutenção das máquinas; realiza controle de emissões de gases poluentes.
Coelho et al. (2018)	<i>Diagnóstico dos resíduos sólidos gerados no processo de beneficiamento nas lavanderias de jeans.</i>	1 lavanderia de Caruaru: Possui ETE; reutiliza resíduos sólidos (logística reversa).
Silva, T. (2018)	<i>As adaptações na gestão ambiental das lavanderias de beneficiamento do jeans à luz do isomorfismo institucional: um estudo de múltiplos casos em Toritama-PE.</i>	53 lavanderias: 2% realiza algum tipo de reuso de efluentes; 6% reaproveita cinzas da caldeira; 79% recicla bombonas de plástico.
Silva e Xavier (2020)	<i>Inovação e tecnologia em lavanderias de jeans do polo têxtil do agreste Pernambucano e a implementação das atividades de reuso de água.</i>	1 lavanderia de Toritama: Possui ETA.
Melo et al. (2020)	<i>Reativo ou pró-ativo? Pró-atividade ambiental das lavanderias de jeans em Caruaru-PE.</i>	2 lavanderias: Todas possuem ETEs; 50% realiza redução de água e produtos químicos (não especificado).

Silva Filho <i>et al.</i> (2021)	<i>Análise da importância do reuso da água em lavanderias de beneficiamento de jeans.</i>	62 lavanderias de Caruaru: 83% realiza algum tipo de reuso de efluentes.
Macêdo (2022)	<i>Avaliação do uso de água e geração de efluentes no processo de beneficiamento de jeans: estudo de caso lavanderias industriais de Toritama/PE.</i>	9 lavanderias: Todas realizam tratamento dos efluentes; 11% realizam reuso.

Fonte: Autora (2024).

Dos artigos selecionados todos tinham em comum o Agreste Pernambucano como área de estudo, onde foram coletados dados através de entrevistas com as gestões das lavanderias. Através da Tabela 1 é possível observar que as referências de Lima (2014), Silva, T. (2018) e Silva Filho *et al.* (2021) possuem os maiores números de lavanderias pesquisadas, nas três pesquisas observa-se uma maior constância no reuso de água como principal prática sustentável.

Segundo Silva, Menelau e Ribeiro (2021) há quatro processos com impactos socioambientais causados pelas lavanderias têxteis, são esses: caldeiras, lavagem, sistema de tratamento de efluentes e atividades gerenciais. Foram consideradas na análise realizada práticas correlacionadas aos problemas citados, estas descritas e sinalizadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Tipos de práticas sustentáveis realizadas pelas lavanderias têxteis.

Tipos de práticas sustentáveis	Benefícios relacionados às práticas	Referências que mencionam
Estação de Tratamento de Água ou Efluentes	É crucial para abordar efetivamente o problema da poluição das águas, apesar de que sua utilização não é garantia de resultados unicamente vantajosos.	Lima (2014); Costa <i>et al.</i> (2014); Cavalcanti (2015); Silva, A. (2017); Coelho <i>et al.</i> (2018); Silva, T. (2018); Silva e Xavier (2020); Melo <i>et al.</i> (2020); Silva Filho <i>et al.</i> (2021); Macêdo (2022).
Reaproveitamento do Lodo Residual	Por ser a continuidade ao problema de poluição das águas, o lodo é resultante das estações de tratamento, ao garantir seu reaproveitamento reduzirá a quantidade de resíduos devolvidos aos rios pelas lavanderias industriais.	Lima (2014); Cavalcanti (2015); Coelho <i>et al.</i> (2018).

Manutenção e Reaproveitamento de Resíduos de Caldeiras	Ao realizar manutenções periódicas, assegura o funcionamento adequado das caldeiras industriais, isto é, evita que poluam ainda mais. Além disso, o reaproveitamento dos resíduos é fundamental para o controle e gerenciamento dos poluentes.	Lima (2014); Costa <i>et al.</i> (2014); Cavalcanti (2015); Silva, A. (2017); Silva, T. (2018).
Corantes Naturais	Por serem pigmentos extraídos da natureza, eliminam a necessidade de produtos químicos prejudiciais à saúde. Utilizar esses corantes não é apenas uma tendência de mercado, mas uma necessidade para empreendedores visionários, conscientes do impacto sustentável no futuro.	-
Gerenciamento de Resíduos Sólidos	Facilita uma utilização mais eficiente da matéria-prima e diminui as agressões ao meio ambiente, visando principalmente minimizar os impactos adversos ao meio ambiente.	Lima (2014); Cavalcanti (2015); Coelho <i>et al.</i> (2018); Silva, T. (2018).

Fonte: Autora (2024).

É possível perceber na Tabela 2, assim como na Tabela 1, que a prática sustentável em maior evidência é o uso de estação de tratamento de água ou efluentes. No entanto, é importante enfatizar que, em 2015, conforme Conselho Nacional Procuradores-Gerais, mais de treze lavanderias do Agreste Pernambucano firmaram os Termos de Ajustamento de Condutas Ambientais, onde entre as obrigações que as empresas se comprometeram a continuar cumprindo está não descarregar efluentes líquidos industriais sem o tratamento primário adequado em corpos hídricos, canais, solo, rede pública de saneamento ou qualquer meio. Por essa razão, a segunda prática mencionada na Tabela 2 é o reaproveitamento de lodo residual dessas estações e, que em comparativo, segundo os dados das referências utilizadas, não é adotado em mesma proporção pelas lavanderias em estudo.

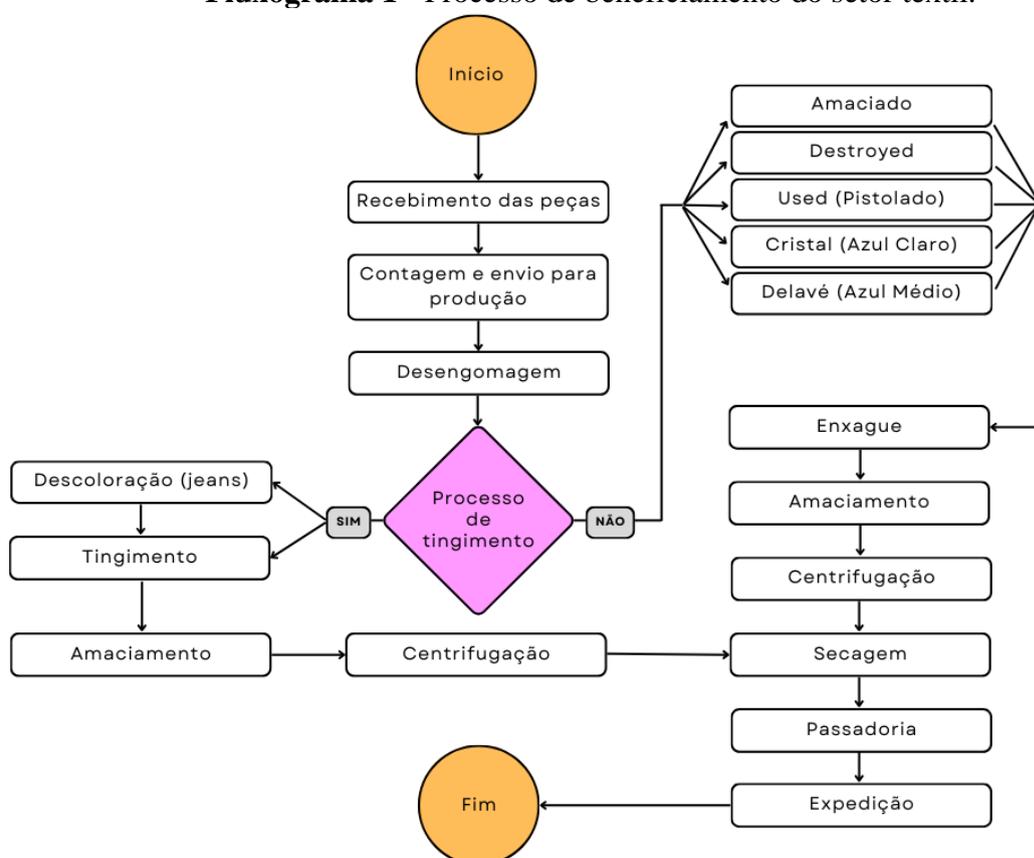
Além disso, a manutenção de caldeiras e o gerenciamento de resíduos sólidos são citados por menos da metade das referências utilizadas, esse alerta também está na prática do

uso de corantes naturais que não é evidenciada nos artigos em estudo sobre as lavanderias do Agreste Pernambucano, sendo esta uma alternativa para substituição do uso de produtos químicos que igualmente degradam os corpos hídricos receptores.

4.4.1. Síntese dos processos

É possível identificar os processos mencionados para a maioria das lavanderias no Fluxograma 1.

Fluxograma 1 - Processo de beneficiamento do setor têxtil.



Fonte: Adaptado (Silva, R., 2014).

Com base nos materiais utilizados, nas operações realizadas e nos resíduos produzidos, as indústrias devem atender aos padrões normativos que abrangem a aquisição de insumos, o uso de maquinário nas atividades processuais, a segurança dos funcionários, o descarte de resíduos e o tratamento de efluentes (Cavalcanti *et al.*, 2014), o que torna indispensável o estudo de práticas sustentáveis para aplicabilidade em lavanderias têxteis.

O clima no Agreste Pernambucano é predominantemente do tipo semiárido, que se caracteriza por períodos de secas e temperaturas médias mais elevadas (Santos, E., 2016). Entretanto, considerando o grande consumo de água nas lavanderias têxteis, há uma

preocupação devido às mudanças climáticas, onde a baixa precipitação e grandes secas tem resultado nos problemas como a falta de água que afeta diretamente a economia e a população local (Cunha *et al.*, 2015; Ribeiro *et al.*, 2016). Segundo Brito *et al.* (2020) um relatório divulgado pelo Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas, aponta que as projeções para a região são preocupantes, pois há uma previsão de aumento entre 0,5° a 1°C da temperatura do ar e queda entre 10% e 20% da precipitação pluvial, que já é considerada baixa e deverá durar três décadas, ou seja, até 2040.

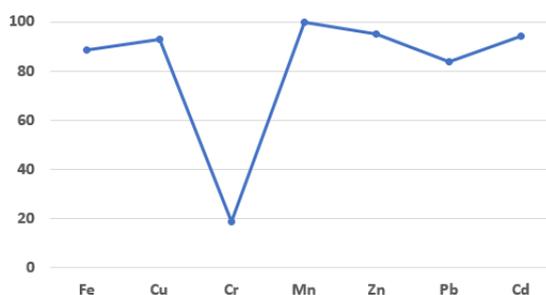
Como exemplo, uma prática sustentável utilizada são as estações de tratamento de água que necessitam de investimento da indústria para funcionamento, mas que possuem um retorno financeiro significativo, considerando a redução na despesa com fornecimento de água.

Considerando as relações entre as mudanças climáticas, as lavanderias têxteis e a sustentabilidade, entende-se ser possível, por um viés mais ambientalista, considerar práticas sustentáveis para as lavanderias têxteis do Agreste Pernambucano. Tal consideração, endossa a pertinência de nossa pesquisa, orientada pela preocupação dos impactos ambientais.

4.4.2. Resultados analíticos

O tratamento utilizado pela lavanderia geralmente utilizada é tratamento primário com utilização de coagulantes, sem observação de processos de remediação acessórios. Neste sentido, de acordo com Silva (2016), embora exista uma aparente eficiência no percentual de redução de metais nos efluentes têxteis, devemos considerar que o grande volume gerado diariamente pelas estações de tratamento de efluentes modifica a observação desses valores. Uma vez que mesmo o menor percentual que deixa de ser tratado, reflete em milhares de litros de efluentes dispostos diariamente nos corpos hídricos e no meio ambiente com alta carga de metais poluentes.

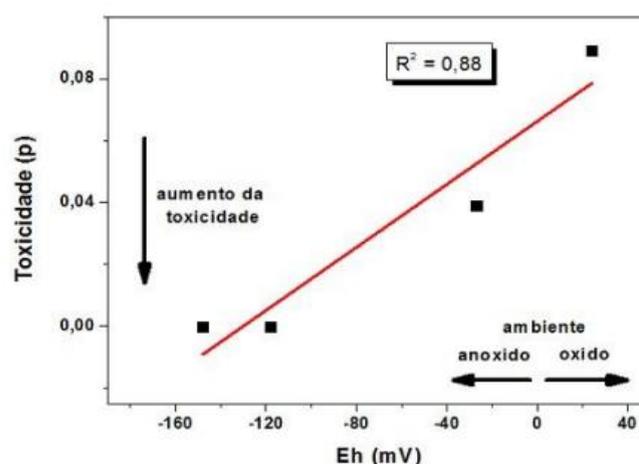
Figura 2 - Percentual de remoção de metais nos processos das ETE das lavanderias.



Fonte: Adaptado (Silva, 2016).

Também segundo Souto (2017), o gráfico da Figura 3, representa a dependência da toxicidade com as condições de oxirredução do meio. A influência da matéria orgânica e demais substâncias liberadas do lodo para o elutriado pode sugerir que a diminuição dos valores de Eh, de um ambiente pouco oxidante para um ambiente francamente redutor acompanha o aumento da toxicidade. Tal resultado sugere que a qualidade do lodo gerado pelas lavanderias têxteis pode ser consequência do tipo de tratamento a que foi submetido seu efluente, uma vez que concentra as substâncias que causam a redução das condições no ambiente. Um conjunto de compostos orgânicos provenientes das fibras dos tecidos bem como compostos inorgânicos oriundos dos processos de tingimento e floculação como os carbonatos, sulfatos, hidróxidos de alumínio ou óxido de cálcio seriam os responsáveis para essa condição anóxica.

Figura 3 - Gráfico da relação entre a toxicidade e as condições de oxirredução do ambiente.



Fonte: Souto (2017).

4.5. Conclusão

As principais práticas ambientais internacionais evidenciam que o aprimoramento na eficiência do consumo de energia e adoção de fontes renováveis na produção são focos essenciais. Além disso, vale ressaltar estudos que exploram setores compartilhados, em que mencionam a reciclagem de materiais e a preservação de recursos naturais, incluindo madeira, água e energia (Dalazen *et al.*, 2022).

O Brasil obtém a maior parte de sua energia elétrica por meio de hidrelétricas, que apesar de serem categorizadas como fontes renováveis, provocam impactos socioambientais. E, conforme foi abordado neste artigo, as mudanças climáticas estão modificando o padrão das chuvas e ameaçando a segurança dos volumes de água nas barragens, o que representa um

desafio em manter a matriz energética brasileira (Galbiatti-Silveira, 2018).

Na gestão da sustentabilidade, apesar de empresas adotarem estratégias direcionadas, internacionalmente ainda há falta de foco, bem como na gestão de tratamento de água que é um aspecto que precisa ser melhorado e necessita de estudos relacionados a melhor eficiência no consumo (Husgafvel *et al.*, 2013; Jaggernath e Khan, 2015; Dalazen *et al.*, 2022).

Galbiatti-Silveira (2018) aponta que “a crise hídrica tem levado a uma percepção inicial de que a água pode se tornar um bem escasso e motivo de conflitos mundiais por sua obtenção” essa ideia levanta o alerta para estudos direcionados ao assunto, sendo necessária a adoção de políticas públicas de diminuição de consumo e estudos para essa transição. Considerar a substituição da matriz energética por mais de uma fonte ou recurso é a tomada de decisão mais importante entre os desafios socioambientais que o Brasil enfrenta atualmente.

Foi possível relacionar o âmbito global e o cenário existente no Agreste Pernambucano, visto que a preservação dos recursos naturais não está tão presente nas referências em estudo, sendo possível concluir que a sustentabilidade nas lavanderias têxteis do Agreste Pernambucano não acontece em sua máxima potencialidade.

Além da escassez de palavras-chave relacionadas as lavanderias no título de teses, dissertações, monografias e artigos científicos, é possível perceber que há a necessidade de mais pesquisas ao que se refere às práticas sustentáveis adotadas pelas lavanderias do Agreste Pernambucano, visando alternativas de fontes renováveis e reuso de recursos naturais.

4.6. Referências

ABIT. **Perfil do Setor Têxtil e de Confecção**. Abit, 2023. Disponível em: <<https://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>>. Acesso em 03 jan. 2024.

ARSLAN-ALATON, I.; ALATON, I. Degadation of xenobiotics orgininating from the textile preparation. **Ecotoxicology and Environmental Safety**. v. 68, p.98-107, 2007.

BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n. 430**, de 13 de maio de 2011. DOU: Diário Oficial da União, nº 92, Brasília, DF, p. 89, 24 nov. 2023.

BRITO, Thyago Rodrigues do Carmo *et al.* Mudanças no uso da terra e efeito nos componentes do balanço hídrico no Agreste Pernambucano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 02, p. 870-886, 2020.

CNPG. Conselho Nacional Procuradores-Gerais. **Caruaru: lavanderias devem se adequar a legislação ambiental**. Recife, 2015. Disponível em: <<http://cnpq.org.br/index.php/lista-de-artigos/4911-caruaru-lavanderias-devem-se-adequar-a-legislacao-ambiental>>. Acesso em 06 jan. 2024.

CAVALCANTI, M. D. *et al.* Considerações sobre o uso e o descarte da água em lavanderias têxteis industriais. In: **Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**. p.389-394, 2014.

COELHO, Carla de Paula Gomes *et al.* 1.2 DIAGNÓSTICO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS GERADOS NO PROCESSO DE BENEFICIAMENTO NAS LAVANDERIAS DE JEANS. **Resíduos sólidos**, p. 23, 2018.

COSTA, A. F. de S. **Aplicação de tratamentos de efluentes biológicos e físico-químicos em efluentes de lavanderia e tinturaria industriais do município de Toritama no estado de Pernambuco**. 2008, Dissertação (Mestrado em desenvolvimento ambiental). Universidade Católica de Pernambuco. Recife, Pernambuco, 2008.

COSTA, Rafaela Ferreira *et al.* Um Estudo Quanto a Possível Redução dos Custos Operacionais nas Lavanderias Têxteis que Adotam Processos Sustentáveis. In: **Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC**. 2014.

CUNHA, A.P.M.A., *et al.*, 2015. Impacts of land use and land cover changes on the climate over Northeast Brazil. **Atmospheric Science Letters** **16**, 219–227.
<https://doi.org/10.1002/asl2.543>

DALAZEN, Luciano Luiz *et al.* As práticas sustentáveis para a mitigação dos gases de efeito estufa: uma revisão sistemática de literatura, **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.8, n.5, p. 37685-37708, 2022.

FREITAS, Everton. Gigante no Agreste de PE: Polo de Confecções garante renda e emprego para mais de 24 mil pequenos empreendedores. **Portal G1**. Caruaru. 29 mai. 2023. Disponível em: <<https://g1.globo.com/pe/caruaru-regiao/noticia/2023/05/29/gigante-no-agreste-de-pe-polo-de-confecoes-garante-renda-e-emprego-para-mais-de-24-mil-pequenos-empreendedores.ghtml>>. Acesso em: 06 jan. 2024.

GALBIATTI-SILVEIRA, Paula. Energia e mudanças climáticas: impactos socioambientais das hidrelétricas e diversificação da matriz energética brasileira. **Opinião Jurídica**, v. 17, n. 33, p. 123-147, 2018.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4a ed. [S. l.]: Editora Atlas, 2002. 175 p. v. 1. ISBN 85-224-3169-8.

HUSGAFVEL, R., et al. Review of sustainability management initiatives within Finnish forest products industry companies – Translating Eu level steering into proactive initiatives. **Resources, Conservation & Recycling**, 2013. 76, 1–11.

JAGGERNATH, R., & KHAN, Z. Green supply chain management. **World Journal of Entrepreneurship, Management and Sustainable Development**, 2015. 11(1), 37–47.

KON, Anita; COAN, Durval Calegari. Transformações da indústria têxtil brasileira: a transição para a modernização. **Revista de economia Mackenzie**, v. 3, n. 3, 2009.

- LIMA, Lavoisiene Rodrigues de. **Custos ambientais e a externalidade negativa das lavanderias têxteis do Polo de Confeccões do Agreste de Pernambuco**. 2014. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.
- LIRA, Elizabete Buonora de Souza. **Monitoramento geoquímico e ambiental da qualidade dos sedimentos no Rio Ipojuca no Polo Têxtil do Agreste de Pernambuco - Brasil**. 2019. 55 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- MACÊDO, Jacqueline da Silva. **Avaliação do uso de água e geração de efluentes no processo de beneficiamento de jeans: estudo de caso lavanderias industriais de Toritama/PE**. 2022. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.
- METCALF & EDDY, Inc. Constituintes in wastewater, In: ____ **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 4. ed., rev. G. Tchobanoglous, F. L. Burton, H. D. Stensel. New York: McGraw-Hill, p. 29-151, 2003.
- PERALTA-ZAMORA, P.; TIBURTIUS, E. R. L; MORAS, S. G; DURÁN, N. Degradação enzimática de corantes têxteis. **Química Têxtil**. v. 68, p. 32/38, 2002.
- RIBEIRO, K., *et al.*, 2016. Land cover changes and greenhouse gas emissions in two different soil covers in the Brazilian Caatinga. **Science of the Total Environment** **571**, 1048-1057.
- SANTOS, Beatriz Silva. **Caracterização Química do Lodo Proveniente de Resíduos do Arranjo Produtivo Local Têxtil e Confeccões para Criação de um Hidrogel Fertilizante com Aplicação na Potencialização do Agronegócio em Pernambuco**. 2023. 175 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- SANTOS, Edjane Maria dos. **A geoconservação como ferramenta para o desenvolvimento sustentável em regiões semiáridas: estudo aplicado à Mesorregião do Agreste de Pernambuco**, Nordeste do Brasil. 2016.
- SILVA, Anthony Gulthierrez Joanes Soares. **A configuração da gestão sustentável e os desafios a sua implementação em lavanderias de beneficiamento de jeans**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso.
- SILVA, Bruno Lopes; XAVIER, Maria Gilca Pinto. Inovação e tecnologia em lavanderias de jeans do polo têxtil do agreste Pernambucano e a implementação das atividades de reuso de água. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 41458-41476, 2020.
- SILVA, Maria de Fátima da; MENELAU, Almir Silveira; RIBEIRO, Ana Regina Bezerra. IMPACTOS AMBIENTAIS REGISTRADOS NOS ESTUDOS DAS LAVANDERIAS TÊXTEIS DO ARRANJO PRODUTIVO DO AGRESTE PERNAMBUCANO: UMA RELEITURA PELA PERSPECTIVA DA SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 77-103, 2021.
- SILVA, Rivaldo Antônio Jeronimo da. **Modelo de gestão ambiental para reuso de águas de lavanderias do Agreste de Pernambuco**. 2016. 128 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

SILVA, Thainá Samara. **As adaptações na gestão ambiental das lavanderias de beneficiamento do jeans à luz do isomorfismo institucional: um estudo de múltiplos casos em Toritama-PE.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso.

SILVA FILHO, Antonio Romão Alves *et al.* Análise da importância do reúso da água em lavanderias de beneficiamento de jeans. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 6, p. e40710614402-e40710614402, 2021.

SOUTO, Thaís Jeruzza Maciel Póvoas. **Estudo do comportamento químico e ambiental de efluentes industriais e resíduos sólidos oriundos de lavanderias do polo têxtil no Agreste Pernambucano.** 2017. 114 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

SOUZA, Maria Cristina Oliveira; CORAZZA, Rosana Icassatti. Do Protocolo Kyoto ao Acordo de Paris: uma análise das mudanças no regime climático global a partir do estudo da evolução de perfis de emissões de gases de efeito estufa. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 42, 2017.

VIEIRA, Alex Sarmiento *et al.* AVALIAÇÃO E MENSURAÇÃO DOS CRÉDITOS DE CARBONO: UM ESTUDO DE CASO NO SETOR DA SUINOCULTURA DA EMPRESA BRF-BRASIL FOODS SA. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, p. 27-44, 2018.

5. CAPÍTULO 2 - AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DA INSERÇÃO DAS LAVANDERIAS TÊXTEIS NO MERCADO DE CRÉDITOS DE CARBONO ATRAVÉS DE MECANISMOS DE DESENVOLVIMENTO LIMPO

5.1. Resumo

A indústria têxtil representa um segmento que requer uma quantidade significativa de recursos naturais e utiliza produtos com elevado potencial poluidor. Esse setor é caracterizado pelo alto consumo de água e o uso intensivo de produtos químicos, além da utilização de materiais flocculantes em suas próprias estações de tratamento de efluentes, e infelizmente, o tratamento dos efluentes nem sempre resulta em água adequadamente purificada, resultando em danos consideráveis aos corpos hídricos nas proximidades das lavanderias têxteis. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade da inserção de lavanderias têxteis no mercado de créditos de carbono através da aplicação de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL). Atualmente, não há uma metodologia específica voltada diretamente para o setor de lavanderias têxteis, mas existem metodologias relacionadas ao tratamento de águas residuais que focam no manejo adequado do lodo residual além da possibilidade do uso do metano como biogás. Considerando o lodo gerado em Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs), especialmente nas lavanderias têxteis, este trabalho explora a possibilidade de adaptar essas metodologias como uma alternativa promissora para reduzir as emissões de gases de efeito estufa através do atrativo econômico e da ética ambiental. A pesquisa destaca a importância de utilizar a metodologia que melhor se adeque às necessidades das lavanderias, além de desenvolver abordagens mais sustentáveis e específicas para o setor têxtil, visando a inclusão eficaz dessas empresas no mercado de créditos de carbono.

Palavras-chave: Estação de Tratamento de Efluentes; Créditos de Carbono; Mecanismos de Desenvolvimento Limpo.

5.2. Introdução

O Protocolo de Kyoto, segundo Marengo (2014), foi criado para o controle das emissões de gases que provocam o efeito estufa, mas infelizmente houve um conflito quanto às metas de redução, isso porque os países em desenvolvimento não tinham um planejamento para a redução das emissões de gases do efeito estufa, e com isso o protocolo deixou de ser a principal solução

de proteção climática internacional, tornando-se um plano inicial ineficiente.

Contudo, foi a partir do Protocolo de Kyoto que foi possível um consentimento internacional entre os países, reconhecendo as mudanças climáticas, bem como a necessidade de planos de ação em combate a essas emissões de gases do efeito estufa. Foi com o protocolo que também surgiram os créditos de carbono, pois as exigências individuais para que os países emitissem menos GEEs, trouxe ao mesmo tempo uma flexibilização dessa obrigatoriedade, considerando a falta de planejamento e estratégia de redução de países em desenvolvimento.

Desta forma, temos o surgimento do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) que permite que projetos de redução de emissões em países em desenvolvimento ganhem créditos de carbono que são a redução certificada de emissões (RCE), cada um equivalente a uma tonelada de CO₂. Esses créditos podem ser negociados e vendidos, além disso, países industrializados podem utilizar esses créditos para cumprir parte de suas metas de redução de emissões sob o Protocolo de Kyoto, proporcionando-lhes flexibilidade na implementação dessas metas.

De acordo com Souza (2020), o comércio de emissões em nível nacional e internacional consiste na limitação de emissão para empresas e governos, onde aqueles que reduzem esses níveis são capazes de vender em créditos de carbono para os que estão prestes a exceder suas quotas determinadas no protocolo.

O contexto pós-Kyoto traz, em 2015, o Acordo de Paris, destacando que “a comunidade internacional se comprometeu a limitar a elevação da temperatura abaixo dos 2°C e a continuar os esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5°C” (REI; GONÇALVES; SOUZA, 2017, p. 84). A partir desse cenário, e um estudo indicado pelo Painel Intergovernamental para a Mudança de Clima (IPCC) (2023), em que as metas estabelecidas pelas contribuições nacionalmente determinadas para o ano de 2030 projetam um aumento na temperatura global de 1,5°C durante a primeira metade da década, apresentando um desafio significativo para limitar o aquecimento a menos de 2,0°C até o término do século XXI.

Qualquer incremento adicional no aquecimento global acarretará na intensificação dos riscos simultâneos em todas as regiões do mundo, levantando um alerta nos estudos relacionados ao Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – pois além de suas funções no mercado de carbono global, o MDL também tem um impacto social e econômico positivo ao ser a principal fonte de receita para o Fundo de Adaptação da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC). Este fundo foi estabelecido para financiar projetos e programas de adaptação nos países em desenvolvimento que são particularmente vulneráveis aos efeitos adversos das alterações climáticas (United Nations, s.d).

O Brasil desempenhou um papel fundamental na criação do MDL, sendo um dos primeiros países a estabelecer a estrutura jurídica necessária para o desenvolvimento de projetos nessa área. A partir dessa base, o país desenvolveu uma vasta gama de projetos, predominantemente focados no uso de biomassa, como o aproveitamento do bagaço da cana de açúcar, de esterco, dos resíduos de madeira, das cascas de arroz e outros (Lombardi, 2008; Clemente; Almeida, 2023).

Conforme a United Nations (s.d.), os Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL) são metodologias de base que ajudam a estabelecer projetos de redução das emissões dos gases de efeito estufa, ajudando no monitoramento, quantificação e estimativa antecipada de um projeto. O cálculo da certificação trata-se dos créditos de carbono, ocorre da determinação da diferença entre a linha de base (projeto) e as emissões reais do produto. Desta forma, os Mecanismos de Desenvolvimento Limpo são uma linha de base de pesquisa dos créditos de carbono fornecidos pelas Nações Unidas, que consiste na previsão de redução de emissões. As metodologias consolidadas e aprovadas definem os pré-requisitos e equações necessárias para o desenvolvimento do cálculo de redução de emissões em quaisquer produções que se adequem à proposta.

Desta forma, considerando as relações entre as mudanças climáticas, os GEEs e seus impactos ambientais, entendemos ser possível, por um viés mais ambientalista a partir dos mecanismos de desenvolvimento limpo, verificar a viabilidade da participação de lavanderias têxteis no mercado de créditos de carbono, conquistando a redução de emissão de gases de efeito estufa em relação a diferença no tratamento de efluentes. Tal consideração, endossa a pertinência dessa pesquisa, orientada pela preocupação dos impactos do pólo têxtil no meio ambiente.

5.3. Metodologia

Os métodos foram obtidos através dos mecanismos de desenvolvimento limpo do UNFCCC, a escolha das metodologias se deu a partir da avaliação das existentes já aprovadas e que possuíam ligação com os processos realizados em lavanderias têxteis, trata-se da *ACM0014: Treatment of wastewater*¹ e *AM0080: Mitigation of greenhouse gases emissions with treatment of wastewater in aerobic wastewater treatment plants*².

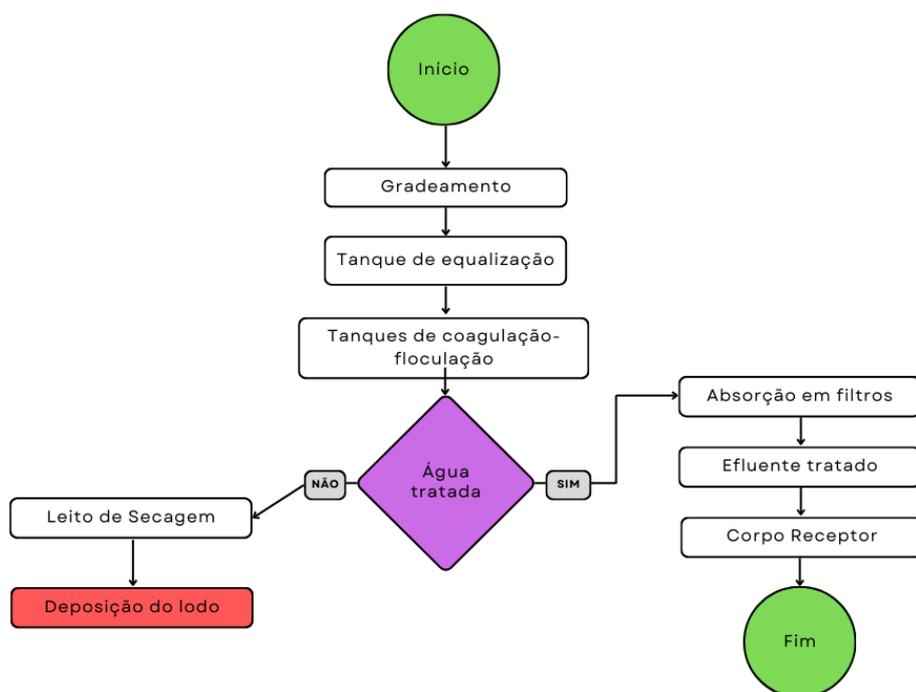
¹ Tradução pelo autor: *ACM0014 Tratamento de Águas Residuais*

² Tradução pelo autor: *AM0080: Mitigação de emissões de gases de efeito estufa com tratamento de águas residuais em estações de tratamento de águas residuais aeróbicas*

Considerando que todos os processos permitem a análise de redução dos impactos ambientais e redução de emissões de gases de efeito estufa promovidos pelo setor têxtil, utilizou-se as duas metodologias para identificar a viabilidade no mercado de créditos de carbono associado às práticas sustentáveis adotadas em lavanderias têxteis. As duas metodologias são definidas com os pré-requisitos de linha de base, bem como as equações necessárias, para determinar o potencial de redução de emissões de gases de efeito estufa.

Para compreender o cenário em estudo, adota-se a abordagem de Viana (2019) e Buss *et al.* (2015), que apontam os processos utilizados normalmente em lavanderias industriais têxteis no Brasil, conforme indicado na Figura 1.

Figura 1 - Esquema de Estação de Tratamento de Efluentes em Lavanderias Têxteis.



Fonte: Adaptado (Viana, 2019; Buss, 2015).

No tratamento primário, são aplicados processos físico-químicos com o objetivo de neutralizar as cargas e ajustar o pH, facilitando assim a coagulação e floculação dos contaminantes, que posteriormente são removidos por meio de decantação e filtração. Esta etapa é destinada à remoção de materiais flutuantes, sedimentáveis e óleos que não foram retidos no pré-tratamento (Viana, 2019).

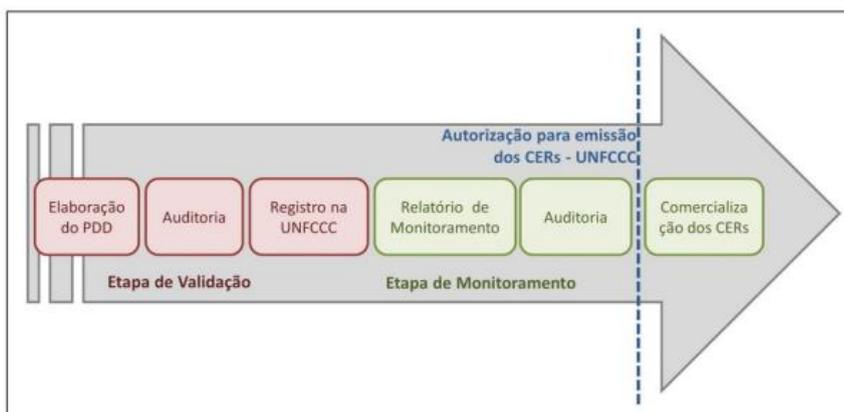
Na segunda etapa, ocorre a lavagem em que a água passa pelo filtro contendo o material absorvente, os contaminantes são retidos dentro do material, limpando a água que passa por ele. A absorção em filtros é utilizada para melhorar a qualidade da água que será descartada ou

reciclada dentro da lavanderia, reduzindo a carga de contaminantes antes de qualquer tratamento adicional ou descarte final (Silva, 2022).

Para realizar os cálculos das emissões é necessário avaliar dois cenários possíveis, um em que as emissões do futuro ocorrerão sem modificação das etapas atuais, nomeia-se como Cenário Base. Outro em que as emissões consideram modificações sustentáveis para as etapas atuais do processo, seguindo conforme estabelecido no modelo de certificação, nomeia-se como Cenário de Projeto.

Na Figura 2, com a determinação dos cenários e os devidos cálculos de emissões é possível realizar o PDD (*Project Design Document* – Documento de Concepção do Projeto, em inglês), e assim passar para as etapas seguintes.

Figura 2 - Principais etapas de um projeto de MDL.

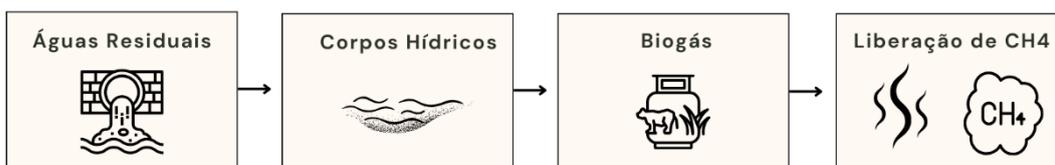


Fonte: Pedott & Aguiar (2014).

Conforme a Figura 3 indica, o Cenário Base para as metodologias *ACM0014* e *AM0080* é o mesmo, pois há liberação de metano proveniente das águas residuais.

Figura 3 - Cenário Base conforme apontamento da *ACM0014* e *AM0080*.

CENÁRIO BASE



Fonte: Adaptado (United Nations, s.d.)

Já no Cenário de Projeto, sinalizado na Figura 4, têm-se a configuração indicada pela metodologia *ACM0014*, que sugere a conversão do biogás produzido das águas residuais para queima de energia ou a redução da emissão realizando o desaguamento do lodo e utilizando-o alternativamente de forma sustentável.

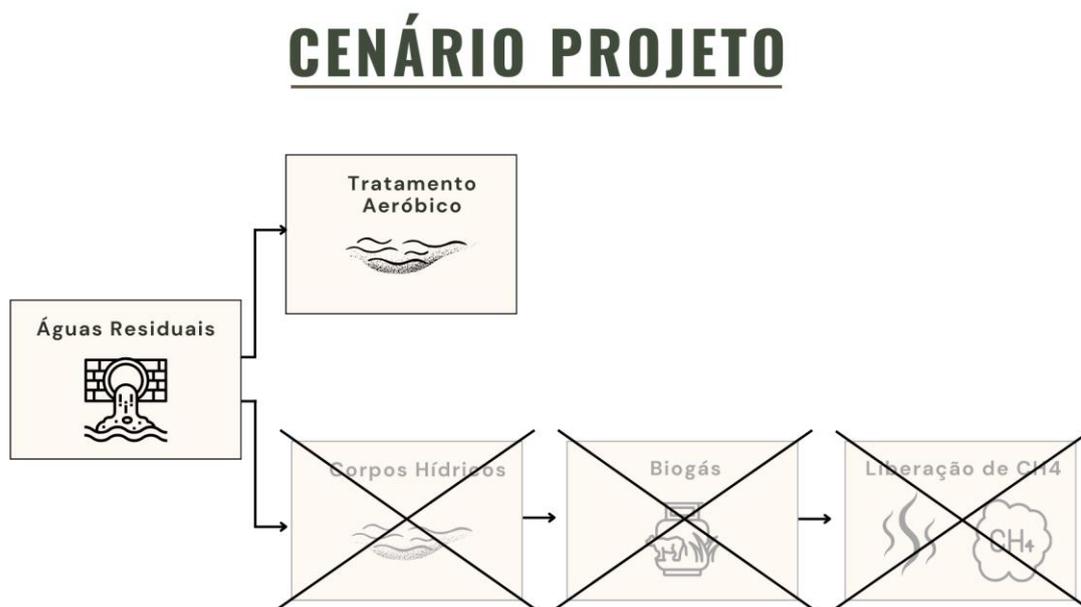
Figura 4 - Cenário de Projeto conforme apontamento da *ACM0014*.



Fonte: Adaptado (United Nations, s.d.)

Na Figura 5, têm-se a metodologia *AM0080*, que sugere o tratamento aeróbico como solução sustentável e dispensando o uso de biogás para mitigação dos gases.

Figura 5 - Cenário de Projeto conforme apontamento da *AM0080*.



Fonte: Adaptado (United Nations, s.d.)

Na metodologia de linha de base, a primeira etapa é a identificação do cenário, antes do cálculo de emissões. Na identificação é importante considerar combinações realistas e credíveis de cenários para o tratamento de águas residuais e, se aplicável, o tratamento de lodos, a produção de eletricidade, a produção de calor e o tratamento de materiais sólidos. Essas combinações devem ser consideradas para o cálculo de emissões, além dos critérios de tratamento, infraestrutura e monitoramento após aprovação (United Nations, s.d.).

5.4. Resultados e Discussões

Não foram identificadas metodologias já aprovadas com aplicabilidade direta apenas para lavanderias têxteis industriais, no entanto, identificou-se duas metodologias, uma aprovada e outra aprovada já consolidada, em que trata da *ACM0014* e *AM0080*, onde os critérios utilizados foram retirados da linha de base de cada uma e pontuados conforme Tabela 1 para discussão.

Tabela 1 - Análise comparativa da aplicabilidade das metodologias *ACM0014* e *AM0080* para lavanderias têxteis.

Crítérios	ACM0014	AM0080
------------------	----------------	---------------

Tipo de Tratamento	<i>Foco em digestão anaeróbia com captura e utilização do biogás.</i>	<i>Foco em tratamento aeróbico de águas residuais com minimização das emissões de GEE.</i>
Captura de Biogás	<i>Essencial para a metodologia, biogás deve ser capturado e utilizado ou queimado para gerar energia.</i>	<i>Não é obrigatório, mas a metodologia permite a captura de biogás.</i>
Tratamento de Lodo	<i>O lodo pode ser tratado anaerobicamente, com foco na redução de emissões através da captura de biogás.</i>	<i>O lodo pode ser tratado aerobiamente ou anaerobiamente; foco na redução de emissões sem a necessidade de captura de biogás.</i>
Infraestrutura Necessária	<i>Requer instalação de digestores anaeróbios e sistemas de captura de biogás.</i>	<i>Requer sistemas de tratamento aeróbico bem gerenciados, com foco na eficiência operacional.</i>
Foco na Redução de GEE	<i>Redução significativa através da captura de biogás e tratamento do lodo.</i>	<i>Redução de GEE através de operações aeróbicas eficientes, minimizando a formação de metano.</i>
Complexidade do Monitoramento	<i>Alto, devido à necessidade de monitorar a produção e utilização do biogás, além do tratamento do lodo.</i>	<i>Moderado, com foco no monitoramento da qualidade do efluente e na eficiência do tratamento aeróbico.</i>
Potencial de Geração de Créditos de Carbono	<i>Alto, especialmente se a captura de biogás for eficaz e utilizada para geração de energia.</i>	<i>Moderado, dependendo da eficiência do tratamento aeróbico e da minimização das emissões de metano.</i>
Adequação ao Contexto de Lavanderias Têxteis	<i>Mais adequado se a lavanderia estiver preparada para capturar e utilizar biogás.</i>	<i>Mais adequado se a lavanderia usar predominantemente tratamento aeróbico e desejar uma abordagem menos complexa.</i>

Fonte: Autora (2024).

Dos critérios selecionados todos têm aspectos necessários correlacionados às metodologias escolhidas e as lavanderias têxteis como área de estudo. Através da Tabela 1 é possível observar que os resultados são variáveis que dependem do nível de investimento e escolha de tratamento por parte das lavanderias, exceto pelo aspecto de complexidade de monitoramento e potencial de geração de créditos de carbono, que são sinalizados na linha de base de cada uma das metodologias, isto é, em razão aos aspectos de funcionalidade dos

modelos, a complexidade de monitoramento e o potencial de geração de créditos de carbono podem sofrer alteração.

Conforme aponta Pedott & Aguiar (2014), a fase monitoramento é essencial para a aprovação dos créditos de carbono do projeto, devendo produzir relatórios para que os créditos de carbono gerados sejam emitidos – portanto, é essencial que além da implantação a empresa consiga monitorar corretamente seu novo cenário, e identificar os parâmetros essenciais para comprovação de suas reduções. O potencial de geração de créditos igualmente estará ligado a quantidade de redução, e sem os cálculos dessas emissões, é possível perceber esses ganhos apenas mediante análise dos parâmetros considerados.

Diante disso, foram montados dois cenários hipotéticos para exemplos de possíveis modelos de monitoramento para lavanderias têxteis industriais considerando as exigências de cada uma das metodologias. A Tabela 2 indica a adequação da AM0080.

Tabela 2 - Monitoramento hipotético para Lavanderias Têxteis utilizando AM0080.

Parâmetro	Unidade	Frequência	Fonte Dados	Avaliação
<i>Efluente tratado</i>	<i>m³/ano</i>	<i>Mensal</i>	<i>Medição direta nas instalações</i>	<i>Volume total de efluentes tratados no sistema aeróbio</i>
<i>Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)</i>	<i>mg/L</i>	<i>Mensal</i>	<i>Análises laboratoriais</i>	<i>Concentração de DBO antes e após o tratamento aeróbio</i>
<i>Lodo gerado</i>	<i>ton/ano</i>	<i>Mensal</i>	<i>Registros operacionais</i>	<i>Quantidade total de lodo gerado durante o tratamento aeróbio</i>
<i>Lodo tratado</i>	<i>-</i>	<i>Contínuo</i>	<i>Documentação de conformidade ambiental</i>	<i>Procedimentos de disposição do lodo tratado, como aterro ou uso como fertilizante</i>
<i>Redução de Emissões de CO₂</i>	<i>tCO₂e/ano</i>	<i>Anual</i>	<i>Cálculos baseados na metodologia AM0080</i>	<i>Estimativa de emissões de CO₂ associadas ao tratamento aeróbio</i>

Fonte: Autora (2024).

A Demanda Química de Oxigênio (DQO) “é um indicador global de matéria orgânica

presente em águas residuais e superficiais, amplamente utilizada em efluentes líquidos” (Radtke et al., 2019; Viana, 2019, p. 28) enquanto a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) “é um indicador que determina indiretamente a concentração de matéria orgânica biodegradável através da demanda de oxigênio exercida por microrganismos através da respiração” (Viana, 2019, p. 28). A DBO é mais comumente associada a processos aeróbicos devido à sua natureza biológica, enquanto a DQO pode ser usada para medir a carga orgânica total em qualquer ambiente, incluindo os sistemas anaeróbicos. A Tabela 3 indica a adequação da ACM0014.

Tabela 3 - Monitoramento hipotético para Lavanderias Têxteis utilizando ACM0014.

Parâmetro	Unidade	Frequência	Fonte Dados	Avaliação
<i>Efluente tratado</i>	<i>m³/ano</i>	<i>Mensal</i>	<i>Medição direta nas instalações</i>	<i>Volume total de efluentes tratados no sistema anaeróbio</i>
<i>Demanda Química de Oxigênio (DQO)</i>	<i>mg/L</i>	<i>Mensal</i>	<i>Análises laboratoriais</i>	<i>Concentração de DQO antes e após o tratamento anaeróbio</i>
<i>Produção Biogás</i>	<i>m³/ano</i>	<i>Contínuo</i>	<i>Medição com medidores de biogás</i>	<i>Volume total de biogás capturado durante o tratamento</i>
<i>Biogás utilizado</i>	<i>m³/ano</i>	<i>Contínuo</i>	<i>Medição com medidores de biogás</i>	<i>Volume de biogás utilizado para geração de energia ou queimado</i>
<i>Proporção Biogás</i>	<i>% CH₄</i>	<i>Mensal</i>	<i>Análises laboratoriais</i>	<i>Proporção de metano (CH₄) no biogás capturado</i>
<i>Lodo gerado</i>	<i>ton/ano</i>	<i>Mensal</i>	<i>Registros operacionais</i>	<i>Quantidade total de lodo produzido no sistema anaeróbio</i>
<i>Tratamento do Lodo</i>	<i>Descrição</i>	<i>Contínuo</i>	<i>Procedimentos de operação</i>	<i>Método de tratamento do lodo (secagem, compostagem, etc.)</i>
<i>Disposição final do lodo</i>	<i>-</i>	<i>Contínuo</i>	<i>Documentação de</i>	<i>Procedimentos de disposição do</i>

<i>tratado</i>			<i>conformidade ambiental</i>	<i>lodo (aterro, aplicação no solo)</i>
<i>Energia gerada a partir do biogás</i>	<i>MWh/ano</i>	<i>Contínuo</i>	<i>Medição com medidores de energia</i>	<i>Quantidade total de energia gerada utilizando o biogás</i>
<i>Redução de Emissões de CO₂</i>	<i>tCO₂e/ano</i>	<i>Anual</i>	<i>Cálculos baseados na metodologia ACM0014</i>	<i>Estimativa de emissões de CO₂ associadas ao tratamento anaeróbio</i>

Fonte: Autora (2024).

É possível através do comparativo entre as tabelas de monitoramentos hipotéticos, perceber que, devido o biogás considerado e produzido na metodologia *ACM0014* temos um cenário em que o potencial de créditos de carbono torna-se maior para *ACM0014* devido a complexidade do seu monitoramento, que indicaria uma possível maior redução das emissões dos gases de efeito estufa.

5.5. Conclusão

A metodologia *ACM0014* foi desenvolvida principalmente para o tratamento de águas residuais utilizando digestores anaeróbios, com foco na captura e utilização ou queima do biogás gerado, visando a redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE), especialmente metano. No entanto, se considerarmos o contexto de lavanderias industriais têxteis e a possibilidade de aplicar essa metodologia, é possível adaptar desde que essas instalações apresentem características semelhantes às descritas na linha de base.

Mas, por exemplo, aplicar a metodologia *ACM0014* em lavanderias têxteis considerando apenas o aproveitamento do lodo, sem a captura do biogás, seria uma aplicação incompleta e menos eficaz. A metodologia foi estruturada para maximizar a redução de gases de efeito estufa através da captura e uso do biogás. Sem esse componente, o projeto não atingiria seu potencial total em termos de mitigação ambiental e não seria capaz de se qualificar adequadamente para créditos de carbono sob os padrões do MDL.

A metodologia é mais eficaz para lavanderias têxteis que visam uma redução significativa das emissões de GEE. Isso se deve à sua capacidade de capturar e utilizar o biogás produzido durante o tratamento dos efluentes. No entanto, os processos de remediação das águas residuais de lavanderias e tinturarias industriais têm envolvido apenas sistemas físico-

químicos de coagulação, floculação e decantação, e o lodo retirado precisa passar por descarte em aterros industriais ou incineração, o que indica um custo adicional e impacto ambiental.

A metodologia *AM0080* considera apenas o aproveitamento do lodo e não captura o biogás, tem uma eficácia da aplicação que dependeria de como o lodo é tratado e das práticas de gestão implementadas para evitar emissões adicionais de metano. A metodologia pode ser adaptada para esse contexto, com resultados limitados em termos de mitigação ambiental.

Por outro lado, se concentra em sistemas de tratamento aeróbico, que, embora eficazes na redução de certos tipos de emissões, não possuem o mesmo potencial de mitigação de metano que o tratamento anaeróbio com captura de biogás. A metodologia é mais simples e focada em minimizar a formação de metano através de um tratamento bem gerenciado, mas não inclui um componente de captura de biogás tão robusto quanto o da *ACM0014*.

Portanto, a escolha da metodologia depende da infraestrutura existente e do nível de investimento que a lavanderia têxtil está disposta a fazer. Se a meta é implementar uma solução menos complexa e baseada em processos aeróbicos, a *AM0080* seria a opção mais viável. Se, no entanto, a lavanderia busca maximizar a redução de emissões e está disposta a investir em captura de biogás, a *ACM0014* seria mais indicada.

5.6. Referências

BUSS, Marta Verônica *et al.* Tratamento dos efluentes de uma lavanderia industrial: avaliação da capacidade de diferentes processos de tratamento. **Revista de Engenharia Civil IMED**, v. 2, n. 1, p. 2-10, 2015.

CLEMENTE, A. C. S. O.; ALMEIDA, V. M. A. O Mercado Brasileiro de Redução de Emissões e Crédito de Carbono: Desafios e Oportunidades. **Revista da Faculdade de Direito da UFG**, 2023.

IPCC, 2023: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34.

LOMBARDI, Antonio. **Créditos de Carbono e Sustentabilidade**. São Paulo: Lazuli, 2008.

PEDOTT, Juliana Gonçalves Justi; AGUIAR, A. O. Biogás em Aterros Sanitários: comparando a geração estimada com a quantidade verificada em projetos de mecanismo de desenvolvimento limpo. **Holos**, v. 4, p. 195-211, 2014.

PEREIRA, Vânia Rosa; RODRIGUEZ, Daniel Andrés. Vulnerabilidades da segurança hídrica no Brasil frente às mudanças climáticas. **Derbyana**, [S. 1.], v. 43, p. e777, 2022. DOI: 10.14295/derb.v43.777. Disponível em:

<<https://revistaig.emnuvens.com.br/derbyana/article/view/777>>. Acesso em: 10 jul. 2024.

RADTKE, Julia Fernanda; MARTINS, Jefferson Santana; MACHADO, Ênio Leandro. Determinação da demanda química de oxigênio (DQO) em efluentes a partir da aquisição de imagens digitais utilizando smartphone. **Revista Jovens Pesquisadores**, v. 9, n. 1, p. 21-34, 2019.

RIBEIRO NETO, G.G. *et al.* Attributing the 2015/2016 Amazon Basin Drought to Anthropogenic Influence. **Climate Resilience and Sustainability**, 1(1): e25, 2022.

SILVA, José A. **Tratamento de Efluentes em Lavanderias Industriais: Processos Físico-Químicos e Biológicos**. 2. ed. São Paulo: Editora Ambiental, 2022.

VIANA, Mirella Alexandre *et al.* **Avaliação da eficiência de estação de tratamento de efluente de lavanderia de beneficiamento de jeans no arranjo produtivo local têxtil do agreste pernambucano-um estudo de caso**. 2019.

ZACHARIAH, M. *et al.* Climate Change Increased Heavy Rainfall, Hitting Vulnerable Communities in Eastern Northeast Brazil. **World Weather Attribution**, 2022. Disponível em: <<https://www.worldweatherattribution.org/wp-content/uploads/Brazil-Floods-Scientific-report.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2024.

6. CONCLUSÕES GERAIS

A relevância das ETEs nas lavanderias têxteis se evidencia pela capacidade dessas instalações em reduzir significativamente o consumo de água nova. Isso é particularmente importante em regiões onde a escassez hídrica é uma preocupação constante. Ao tratar e reutilizar a água, as lavanderias não apenas economizam recursos, mas também demonstram um compromisso com práticas sustentáveis, reduzindo a pressão sobre fontes de água potável e minimizando a poluição dos corpos hídricos. O tratamento adequado dos efluentes contribui para o cumprimento das regulamentações ambientais, evitando multas e sanções.

Entretanto, o tratamento do lodo gerado nas ETEs representa um desafio substancial. Este lodo contém uma alta concentração de contaminantes removidos da água, como metais pesados, produtos químicos e matéria orgânica. Se descartado de forma inadequada, pode levar à contaminação do solo e das águas subterrâneas, além de causar problemas de odor e atrair vetores de doenças. A gestão inadequada do lodo pode transformar um processo ambientalmente benéfico em uma fonte de degradação ambiental e riscos à saúde pública.

O primeiro capítulo evidencia a falta de investimento em processos, mas sinaliza uma grande utilização por parte da maioria das lavanderias em ETEs, mas o alerta está de que a maior parte não reutiliza as águas e/ou não possui um tratamento para o lodo gerado. A análise das práticas sustentáveis nas lavanderias têxteis do Agreste Pernambucano evidencia a importância de adotar abordagens que conciliem a preservação ambiental com vantagens econômicas. A inserção dessas empresas no mercado de créditos de carbono surge como uma estratégia viável e promissora, permitindo não apenas a redução das emissões de gases de efeito estufa, mas também a exploração de novas fontes de receita.

A escolha entre diferentes metodologias mencionadas no segundo capítulo, como a *AM0080* e a *ACM0014*, deve ser pautada pelo nível de investimento e pelo grau de complexidade que as lavanderias têxteis estão dispostas a enfrentar ou que tenham condições de se adaptar, considerando que parte das lavanderias já utilizam de algum tratamento para os efluentes.

Independentemente da metodologia adotada, a implementação de práticas sustentáveis alinhadas aos parâmetros do MDL pode transformar o setor têxtil da região, promovendo um desenvolvimento mais responsável e sustentável. Além disso, destaca-se a necessidade de pesquisas contínuas para aperfeiçoar essas práticas e explorar novas alternativas que possam maximizar os benefícios ambientais e econômicos para as empresas locais. Pois, de toda forma, as lavanderias precisariam adotar destinação sustentável comprovada para o lodo residual

produzido para comprovar a redução de suas emissões. A adoção dessas práticas é não apenas uma resposta às exigências ambientais atuais, mas também uma oportunidade de crescimento econômico sustentável para o Arranjo Produtivo Local Têxtil de Pernambuco.

7. REFERÊNCIAS

ABRANCHES, Sérgio. **O tempo dos governantes incidentais**. São Paulo: Companhia das Letras, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004:2004 – Resíduos sólidos: classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 9 jan. 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm>. Acesso em: 30 jul. 2024.

BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 13 fev. 1998. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19605.htm>. Acesso em: 30 jul. 2024.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 16 maio 2011. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=114770>>. Acesso em: 30 jul. 2024.

CHASE, Richard B. *et al.* **Administração da produção e operações**: manufacturing and service operations management. São Paulo: McGraw-Hill Education, 2012.

COSTA, Gabriela; CANGERANA, F. Estudo do processo oxidativo avançado como uma alternativa tecnológica e eficaz no tratamento de efluentes. **Revista Eletrônica de Tecnologia e Cultura**, v. 19, p. 63-84, 2016.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **A new textiles economy: redesigning fashion's future**. 2017. Disponível em: <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/a-new-textiles-economy>>. Acesso em: 10 jul. 2024.

FLETCHER, K. **Sustainable fashion and textiles: design journeys**. Londres: Earthscan, 2014.

GREENPEACE. **O impacto ambiental da indústria da moda**. 2019. Disponível em: <<https://www.greenpeace.org/brasil/podcast/as-arvores-somos-nozes-66-fast-fashion-e-os-impactos-socioambientais/>>. Acesso em: 10 jul. 2024.

HENZE, M.; HARREMOËS, P.; JANSEN, J. L. C.; ARVIN, E. **Wastewater treatment: biological and chemical processes**. Berlin: Springer, 2008.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Impactos das mudanças climáticas no Brasil**. 2020. Disponível em: <<http://www.inpe.br>>. Acesso em: 10 jul. 2024.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate change 2021: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, 2021. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch>>. Acesso em: 10 jul. 2024.

MARENGO, J. A.; VALVERDE, M. C. Caracterização do clima no Século XX e cenário de mudanças de clima para o Brasil no Século XXI usando os modelos do IPCC-AR4. **Revista Multiciência**, v. 1, n. 8, Campinas, p. 5-28, 2007.

METCALF & EDDY. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 4th ed. New York: McGraw-Hill, 2003.

METCALF & EDDY, Inc. **Wastewater engineering: treatment and resource recovery**. New York: McGraw-Hill Education, 2014.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil. Agência Nacional de Águas**, 2019. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos>>. Acesso em: 10 jul. 2024.

NOBRE, C. A.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. F. Mudanças climáticas e a Amazônia. **Ciência e Cultura**, v. 68, n. 3, p. 26-32, 2016.

REZENDE, M. F. *et al.* Substituição parcial do cimento Portland pela cinza de bagaço de cana-de-açúcar em habitações de interesse social. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 9, n. 1, p. 87-99, jan./mar. 2017.

RODRIGUES, A.; SILVA, J.; PEREIRA, M. Sustentabilidade e indústria. **Revista de Gestão Ambiental**, v. 26, n. 2, p. 45-59, 2022.

SACHS, J. D. **The age of sustainable development**. Nova York: Columbia University Press, 2015.

SLACK, Nigel *et al.* **Administração da produção**. Ed. 8. São Paulo: Atlas, 2018.

STEVENSON, William J. **Administração das operações de produção**. Ed. 6. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

TCHOBANOGLIOUS, G.; BURTON, F. L.; STENSEL, H. D. **Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse**. 4th ed. Boston: McGraw-Hill, 2003.

UNITED NATION. **What is the clean development mechanism?** Disponível em: <<https://cdm.unfccc.int/about/index.html>>. Acesso em: 27 jul. 2024.

VIANA, Mirella Alexandre *et al.* **Avaliação da eficiência de estação de tratamento de efluente de lavanderia de beneficiamento de jeans no arranjo produtivo local têxtil do agreste pernambucano-um estudo de caso**. 2019.

WALKER, Helen *et al.* Sustainable operations management: recent trends and future

directions. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 34, n. 5, 2014.