

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

ANA CLARA ALCÂNTARA SANTOS

**CLAREAMENTO DE JEANS UTILIZANDO OS PRINCÍPIOS DA
FOTOCATÁLISE HETEROGÊNEA COM TiO₂**

**APUCARANA
2020**

ANA CLARA ALCÂNTARA SANTOS

**CLAREAMENTO DE JEANS UTILIZANDO OS PRINCÍPIOS DA
FOTOCATÁLISE HETEROGÊNEA COM TiO₂**

Jeans lightening using the principles of heterogeneous photocatalysis with TiO₂

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Têxtil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Valquíria Aparecida dos Santos Ribeiro
Coorientador: Ana Claudia Ueda

**APUCARANA
2020**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Apucarana



COENT – Coordenação do curso superior em Engenharia Têxtil

TERMO DE APROVAÇÃO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC

CLAREAMENTO DE JEANS UTILIZANDO OS PRINCÍPIOS DA FOTOCATÁLISE HETEROGÊNEA COM TiO₂

Por

ANA CLARA ALCÂNTARA SANTOS

Monografia apresentada às 14 horas do dia 11 de novembro de 2020, como requisito parcial, para conclusão do Curso de Engenharia Têxtil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Apucarana. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação e conferidas, bem como achadas conforme, as alterações indicadas pela Banca Examinadora, o trabalho de conclusão de curso foi considerado APROVADA.

Dra. VALQUÍRIA APARECIDA DOS SANTOS RIBEIRO – ORIENTADORA

Me. LEANDRO VICENTE GONÇALVES – EXAMINADOR(A)

Dra. ANDRÉA SARTORI JABUR – EXAMINADOR(A)

*A Folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso no processo SEI 23064.033498/2020-08.

AGRADECIMENTOS

À Deus pelo amparo e pelas bênçãos e à Irmã Benigna por tantas vezes olhar por mim nos momentos mais difíceis.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná por me proporcionar um excelente ambiente educacional, pelo espaço disponibilizado, pelos professores que engradeceram minha trajetória e por me proporcionar conviver com pessoas tão significantes em minha trajetória.

À minha orientadora Valquíria pela confiança, acolhimento e oportunidade que aprender e por todo apoio prestado, principalmente por este momento atípico que estamos vivendo.

À minha coorientadora Ana Claudia por todo suporte durante esse período e todos os ensinamentos desde minha banca do TCC 1.

À banca desta defesa por todas as pontuações e enriquecimentos a este trabalho.

À minha mãe, que não mede esforços para que eu siga meus sonhos.

À minha família por me apoiar e estender a mão mesmo eu não estando presente.

Aos meus amigos de infância que não importa a distância sempre estão do meu lado.

Aos amigos que fiz em Apucarana que com toda certeza é o maior tesouro que encontrei nos últimos anos.

Muito obrigada, é breve, mas é de coração!

RESUMO

A crescente aceitação do jeans no mercado têxtil trouxe diferenciação e características às peças, com a intenção de atender os desejos do consumidor. A partir dessas características agregadas, tornou-se cada vez mais necessária a utilização de produtos químicos para obtenção de determinadas características na etapa de lavanderia. Porém, visando obter diversificação ao jeans, são gerados efluentes de difícil tratabilidade, como por exemplo a água residual com alteração de cor proveniente do corante que estava presente nas peças. Foram desenvolvidos tratamentos físico-químicos de águas residuárias, referidos como processos oxidativos avançados (POA), que consistem na geração de radicais de alta reatividade, com capacidade de degradação de diversos poluentes. A proposta deste trabalho foi avaliar a capacidade de descoloração do jeans empregando a fotocatalise heterogênea com dióxido de titânio (TiO_2), para realizar o clareamento do jeans, sem a geração de efluente colorido e potencialmente tóxico, tornando o processo sustentável. O estudo teve como resultante os melhores resultados para os valores máximos dos parâmetros pH, tempo e concentração de catalisador, sendo os mesmos: $\text{pH} > 9,0$ e concentração de catalisador $> 1,0$ g/L, dos ensaios 4 e 8. Nos respectivos resultados, o valor obtido de diferença de coloração das amostras foi de 6,54 e 5,95, sendo que o melhor deles ocorreu no menor tempo. O banho residual dessas amostras não apresentou nenhuma coloração visível a olho nu, tendo um efluente equivalente a coloração da água cristalina em comparação.

Palavras-chave: processo oxidativo avançado; lavanderia de jeans; têxtil.

ABSTRACT

The growing acceptance of jeans in the textile market brought differentiation and characteristics to the garments, with the intention of meeting consumer desires. From these aggregate characteristics, it became increasingly necessary to use chemical products to obtain certain characteristics in the laundry step. However, in order to obtain diversification to the jeans, effluents are generated that are difficult to treat, such as, for example, residual water with color change from the dye that was present in the pieces. Physicochemical treatments for wastewater were developed, referred to as advanced oxidative processes (POA), which consist of the generation of highly reactive radicals, with the ability to degrade several pollutants. The purpose of this work was to evaluate the discoloration capacity of jeans using heterogeneous photocatalysis with titanium dioxide (TiO₂), to perform the lightening of the jeans, without the generation of colored and potentially toxic effluent, making the process sustainable. The study resulted in the best results for the maximum values of the parameters pH, time and concentration of catalyst, being the same: pH > 9.0 and catalyst concentration > 1.0 g / L, from tests 4 and 8. In respective results, the value obtained for color difference of the samples was 6.54 and 5.95, the best of which occurred in the shortest time. The residual bath of these samples did not show any color visible to the naked eye, having an effluent equivalent to the color of crystalline water in comparison.

Keywords: advanced oxidative process; jeans laundry; textile.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Fluxo da cadeia têxtil | 13 |
| Figura 2: Fluxo Produtivo de Jeanswear | 15 |
| Figura 3: Fibra de Algodão | 16 |
| Figura 4: Estrutura Molecular do Índigo | 18 |
| Figura 5: Entrelaces do tecido denim, ligação de sarja 3x1 | 19 |
| Figura 6: Representação Esquemática da Partícula do Semicondutor | 24 |
| Figura 7: Balança de precisão | 25 |
| Figura 8: PHmetro | 25 |
| Figura 9: Reator | 26 |
| Figura 10: Espectrofotômetro | 26 |
| Figura 11: Reator | 28 |
| Figura 12: Amostras clareadas | 30 |
| Figura 13: Valores da diferença de cor das amostras | 31 |
| Figura 14: Superfície de resposta para a resposta ΔE em função da variação do pH e da concentração de catalisador | 34 |
| Figura 15: Superfície de resposta para a resposta ΔE em função da variação do tempo e da concentração de catalisador | 35 |
| Figura 16: Superfície de resposta para a resposta ΔE em função da variação do pH e do tempo | 35 |
| Figura 17: Comparação da coloração dos banhos residuais dos ensaios (tubos com numeração) com água destilada (tubos sem marcação) | 36 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|-----------|
| Quadro 1: Processos na Lavanderia | 21 |
| Quadro 2: Condições de ensaio de acordo com o delineamento composto central rotacional com 3 parâmetros | 27 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----------|
| Tabela 1: Parâmetros Utilizados no Experimento de acordo com o delineamento composto central rotacional com 3 parâmetros | 27 |
| Tabela 2: Tabela de efeitos dos parâmetros: tempo, pH e concentração de catalisador sobre a resposta ΔE | 32 |

LISTA DE ABREVIATURAS

| | |
|--------------------------------|-----------------------------|
| BC | Bandas de Condução |
| BV | Banda de Valência |
| CO ₂ | Dióxido de Carbono |
| H ₂ O | Água |
| H ₂ SO ₄ | Ácido sulfúrico |
| NaOH | Hidróxido de Sódio |
| OH | Hidroxilas |
| POA | Processo Oxidativo Avançado |
| TiO ₂ | Dióxido de Titânio |

SUMÁRIO

| | | |
|------------|-----------------------------|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 10 |
| 1.1 | <i>Justificativa</i> | 11 |
| 1.2 | <i>Objetivos</i> | 12 |
| 1.2.1 | Objetivo Geral | 12 |
| 2 | INDÚSTRIA TÊXTIL | 13 |
| 2.1 | <i>Jeanswear</i> | 14 |
| 2.1.1 | Fibra | 16 |
| 2.1.2 | Fio | 17 |

1 INTRODUÇÃO

O jeans surgiu a partir de uma necessidade dos trabalhadores e foi conquistando espaço nas demais classes sociais. Contudo, sua trajetória foi complexa até chegar à classe média e se incorporar como um objeto de consumo. Desde o início, o jeans tinha um apelo evidente: ser durável para as longas jornadas de trabalho, então foi necessário acrescentar-lhes algumas alterações de design para que se tornasse algo necessário e cobiçado. (SVENDSEN, 2004).

Com a grande aceitação e crescimento do jeans, as indústrias têxteis visaram desenvolver novos processos de beneficiamento, surgindo assim as lavanderias industriais, responsáveis pelas inúmeras lavagens que agregam valor ao produto a partir de características únicas. (LUIZ; VALENTIM, 2019).

Os processos aos quais o jeans é submetido podem ser classificados como: físicos, químicos ou biológicos, variando de acordo com as características finais desejadas. É a combinação destes processos que confere ao jeans o aspecto desejado, como clareamento, envelhecimento e desbotamento.

Segundo Oliveira (2008), nas lavanderias industriais utilizam-se alguns agentes químicos para obter esses efeitos, como o permanganato de potássio, que ao entrar em contato com a peça acaba removendo a coloração do jeans causando um efeito esbranquiçado, e o hipoclorito de sódio, outro agente clareador. Encontramos também enzimas que podem ser utilizadas em processos anteriores, como o processo de desengomagem e estonagem, que contribuem para o clareamento das peças. Outra forma de clareamento e envelhecimento é utilizar pedras pomes colocadas dentro das lavadoras e que, ao entrar em atrito com a peça, provocam seu desgaste.

As lavanderias têxteis são grandes responsáveis por gerarem significativa quantidade de efluentes e resíduos sólidos, que, se descartados diretamente nos corpos hídricos, podem causar danos incalculáveis ao ambiente. Os efluentes dos processos são muitas vezes complexos, necessitando de alta energia para atender às crescentes exigências das legislações ambientais. (DIAS *et al.*, 2018).

De acordo com Miklos *et al.* (2018), as condições físico-químicas e biológicas convencionais para tratamento de materiais orgânicos presentes em águas residuais, só removem parcialmente as substâncias. Porém, desenvolveu-se e aprimorou-se estes processos, levando à consolidação das técnicas fotoquímicas na degradação oxidativa de

compostos orgânicos dissolvidos e dispersos, denominando-as como Processos Oxidativos Avançados (POA).

O POA é um processo que consiste na geração de radicais hidroxilas ($\text{OH}\cdot$), que se caracterizam pela alta reatividade. Estes radicais atacam compostos orgânicos resultando em sua oxidação completa, produzindo dióxido de carbono (CO_2) e água (H_2O), ou parcial, sendo os compostos orgânicos restantes geralmente são removidos por técnicas biológicas. (MORAVIA; LANGE; AMARAL, 2011).

Bonancêa (2005) afirma que este processo de oxidar a molécula de corante, converte a dupla ligação do cromóforo, responsável por dar cor, em ligação simples, fazendo com que perca a coloração característica devido à transferência de carga consequente da quebra de conjugação.

Sendo assim, a proposta desta pesquisa é investigar a capacidade de descoloração do jeans empregando a fotocatalise heterogênea com dióxido de titânio (TiO_2), a qual agregará ao processo técnicas de lavagem sustentável, uma vez que não irá gerar banho residual com alta carga de cor, pois o corante será destruído.

1.1 Justificativa

As lavanderias industriais de jeans são de extrema importância na cadeia produtiva desse segmento, surgiram no Brasil na década de 70 para transformar o jeans convencional, é a etapa de transformação visual com o objetivo de alterar as características das peças de acordo com a proposta definida pelos estilistas. (RIBEIRO; FERRARI; TAVARES, 2020).

Kadolph & Langford (1998) destacam que muitos dos produtos utilizados nesses processos não apresentam grandes impactos negativos ao ambiente devido a sua fácil degradabilidade, porém existem outros que apresentam grande potencial de riscos ao ambiente. Dentre esses, estão os corantes, que devido às características de resistência à luz, à temperatura, à perspiração, à abrasão, à lavagem e a outros fatores, os tornam complexos e de difícil degradação.

A grande problemática a respeito dos efluentes têxteis gerados nas tinturarias e lavanderias relaciona-se aos corantes utilizados, que geralmente apresentam o grupo azo em sua composição, e aos agentes químicos que auxiliam o tingimento e dão acabamento aos produtos, que, após cumprirem suas funções são descartados nos banhos de enxague. (RIBEIRO; VOLPE; TAVARES, 2012).

Os efluentes gerados nos processos de lavanderia devem ser corretamente tratados para evitar impactos ambientais e atender à legislação vigente. As técnicas empregadas para coagulação do material geralmente apenas separam por flotação ou sedimentação os materiais suspensos e assim, não atingem a remoção da cor nem dos compostos orgânicos dissolvidos, havendo então a necessidade de um processo químico para tratamento dessas partículas restantes. (AL-DEGS *et al.*, 2000).

Uma alternativa de grande impacto sustentável seria evitar a geração de resíduos ao invés de gerar e depois se preocupar com seu destino, mesmo que muitas vezes pareça impossível não gerar, é necessário focar no descarte da menor quantidade possível evitando demasiada geração e minimizando os impactos causados. (LEITE; PAWLOWSKY, 2005). Por fim, a utilização da fotocatalise no clareamento do jeans, irá valorizar a não geração do efluente com alta carga de cor, promovida pelo corante índigo, quando comparado aos métodos tradicionais do clareamento de jeans.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a obtenção do clareamento de jeans utilizando o princípio da fotocatalise heterogênea com dióxido de titânio.

Objetivo Específico

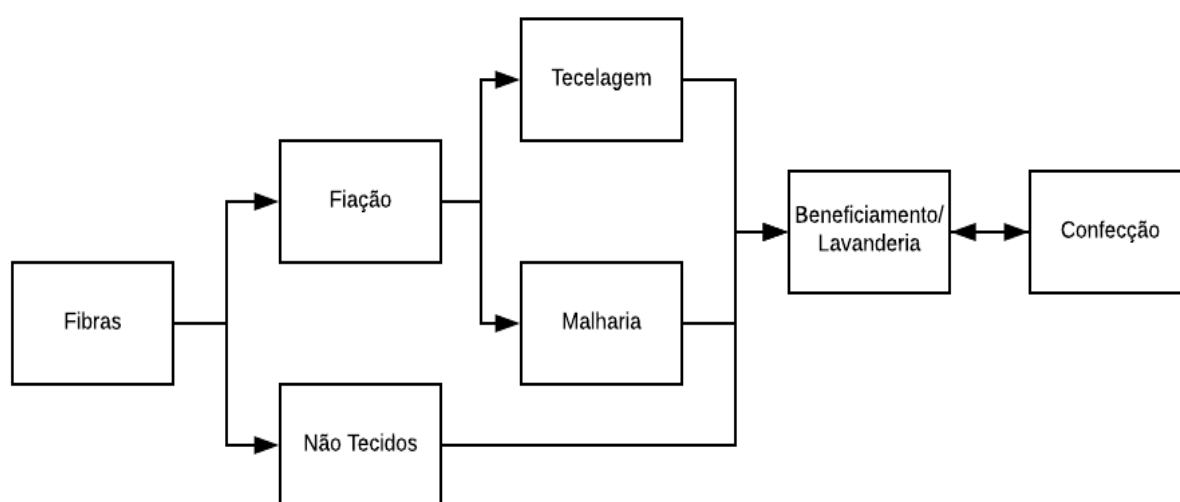
- Realizar o clareamento das amostras de jeans a partir da fotocatalise heterogênea de acordo com o planejamento experimental;
- Avaliar os resultados observando o clareamento das amostras de jeans utilizando espectrofotômetro;
- Avaliar visualmente a ausência de cor no efluente gerado;

2 INDÚSTRIA TÊXTIL

O setor têxtil tem grande importância na economia brasileira, correspondendo a uma parcela significativa na geração de empregos, sendo o segundo maior empregador da indústria de transformação, é a maior cadeia têxtil completa do ocidente e o quarto maior produtor e consumidor de denim no mundo. (ABIT, 2019).

A estrutura da cadeia têxtil engloba desde a produção das fibras até o produto acabado, como mostra a Figura 1.

Figura 1: Fluxo da cadeia têxtil



Fonte: Adaptado de Pereira (2008)

Cada uma dessas etapas possui características próprias, assim, o resultado final de cada etapa independe da seguinte, pois cada etapa elabora um produto final, embora em condições pré-determinadas pelo sistema de produção. (BEZERRA, 2014).

Essa independência presente na indústria têxtil, permite a consolidação de empresas especializadas em diferentes atividades e com diversas tecnologias empregadas. A resultante de cada etapa produtiva pode ser o insumo da etapa subsequente, assim encontra-se indústrias têxteis que trabalham somente o subsetor de fiação, atuando como fornecedor para as indústrias que atuam nos subsetores de malharia e tecelagem, além das indústrias verticalizadas que demandam todo o processo produtivo, sendo fornecedores para as indústrias de confecção e vestuário. (PEREIRA, 2008).

Segundo Bezerra (2014) e Paiva (2010), a indústria têxtil compreende a fiação, a tecelagem, a malharia, o não tecido, o enobrecimento e a confecção. As matérias-primas

têxteis que alimentam esse segmento são as fibras, que podem ser naturais, onde se sobressai o algodão, ou fibras de filamentos sintéticos e artificiais.

Posteriormente, estas fibras são destinadas à fiação e são transformadas em fios que servirão para produção dos artigos de malha (a técnica consiste na passagem de uma laçada de fio através de outra), não tecidos (estrutura plana, flexível e porosa, constituída de véu ou manta de fibras ou filamentos, orientados direccionalmente ou ao acaso) e tecido plano (obtido pelo entrelaçamento de um conjunto de fios em ângulos retos). O processo a ser utilizado depende das características da fibra e quais os parâmetros desejados para o fio. (BEZERRA, 2014; PAIVA, 2010).

Em sequência, tem-se a etapa de enobrecimento, que se dispõe como um conjunto de beneficiamentos a fim de conferir cor, estampas e acabamentos funcionais, além de resultar em propriedades específicas do produto. (BEZERRA, 2014; PAIVA, 2010).

Por fim, chega-se ao setor de confecção que, na maioria das vezes, é a etapa final da cadeia. Para que haja efetividade nos produtos finais desta etapa é necessário que a qualidade das fibras esteja alinhada com a qualidade dos fios que, por sua vez, interfere na qualidade dos tecidos ou não tecidos, que determinam a qualidade dos artigos finais. (BEZERRA, 2014; PAIVA, 2010).

Em artigos de denim, depois da peça confeccionada, esta vai para o setor de acabamentos. Essa fase adicional de beneficiamento geralmente ocorre o desbote e amaciamento, para adquirir aparência de usados, gasto ou “*vintage*”, agregando características únicas, como é o caso das lavagens às quais o jeans pode ser submetido. (LOPES, 2011).

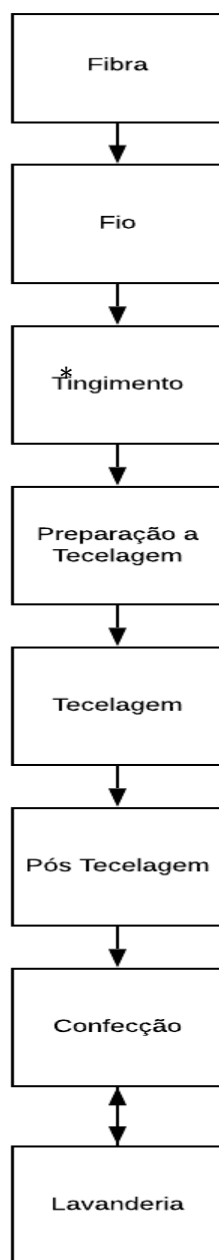
As peças jeans são as mais consumidas no mundo, sendo o Brasil o segundo maior produtor e o terceiro maior consumidor de tecido denim do mundo. O tecido denim é composto por algodão, fibra têxtil natural, e geralmente tinto a partir de um corante azul, o índigo. (MORITA *et al.*, 2017).

2.1 Jeanswear

Levi Strauss foi quem criou o jeans no século XIX, e até hoje mantém suas características básicas. Nos primórdios, buscava atender um mercado de trabalhadores; hoje são disseminados na moda e requerem processos produtivos específicos, exigindo flexibilidade da cadeia produtiva. (MENDES *et al.*, 2008).

A etapas de produção de uma peça confeccionada em *jeanswear* segue o fluxo conforme a Figura 2.

Figura 2: Fluxo Produtivo de Jeanswear



*Tingimento ocorre apenas no fio de urdume
Fonte: Autoria própria (2019)

O jeans é feito a partir de fios de algodão que passam pela tecelagem plana que resultam na padronagem sarja, sendo os fios de trama compostos de algodão cru e os fios de urdume tintos com índigo, podendo ter fios de elastano na sua composição para melhor flexibilidade do artigo. (FIGUEIREDO; CAVALCANTE, 2010).

2.1.1 Fibra

Segundo a ABNT NBR 12744 (1992), as fibras têxteis são classificadas quanto à sua origem e constituição química, podendo ser de origem natural ou manufaturada. As propriedades mais relevantes das fibras são responsáveis por sua destinação, podendo ser aplicadas em diversos segmentos conforme sua morfologia, finura, alongamento, elasticidade, rigidez, densidade, comprimento, massa específica, resistência e porosidade.

A principal matéria prima do tecido denim é o algodão, fibra natural mais produzido em escala mundial. O poliéster e o elastano também podem ser utilizados para atribuírem forma, conforto e maleabilidade. A semente da planta algodoeira é revestida pela fibra de algodão, conforme demonstra a Figura 3, composta por longas cadeias de celulose, em formatos helicoidais que resultam em boa resistência à tração e estabilidade dimensional. Essas cadeias celulósicas são ligadas por grupos OH• que conferem a fibra alta absorção de água, facilitando assim o tingimento. (MORITA *et al.*, 2017).

Figura 3: Fibra de Algodão



Fonte: Embrapa (2018)

Para melhor comercialização do algodão, algumas características são essenciais para que este seja considerado uma matéria prima de qualidade. A pureza do algodão está relacionada com a elevada quantidade de impurezas que são encontradas após sua colheita - quanto mais elevado for o percentual de impurezas, menor será a qualidade do fio. Sua resistência é determinada pela capacidade que o fio tem em resistir aos esforços sofridos; a flexibilidade da fibra é a disponibilidade de ser submetido a flexões e torções sem alterar suas características; e, por fim, a uniformidade do fio que determina a qualidade do tecido em relação aos barramentos que pode interferir na quantidade de paradas de máquinas no processo de fiação. (PEREIRA, 2008).

2.1.2 Fio

As características do fio determinam a qualidade e sua melhor aplicação para determinados tecidos. Para indicar a finura dos fios, são utilizadas as normas de titulação, que representa a relação entre a massa e o comprimento do fio. No mercado, existe enorme variedade em relação a tipos de fibras, titulagens, torções e efeitos diferenciados, assim o leque de opções no tecimento é vasto. (ABNT; SEBRAE, 2012).

Para o fio de algodão emprega-se o cálculo de título do sistema indireto. Estes sistemas determinam a massa fixa e o comprimento variável, sendo o título do fio inversamente proporcional à sua “espessura”. Os sistemas de titulação indireta pode ser o título inglês, representado por Ne, ou o título métrico, representado por Nm. O sistema que predomina a fiação de algodão é o Ne, que se refere ao número de meadas de 1 *hank*, que equivale a 840 jardas e que se iguala a 768 metros, necessárias para se obter a massa de 1 libra, que se refere aproximadamente 454 gramas. (PEREIRA, 2008).

Os fios de algodão são os mais utilizados para tecer na malharia e tecelagem, mas com o surgimento de novas fibras, pode haver a mistura de fibras para obter peças jeans com diferentes resultados. Porém, as fibras artificiais e sintéticas não apresentam as mesmas propriedades da fibra de algodão, sendo difícil a substituição completa desta matéria prima. (PAUL, 2015).

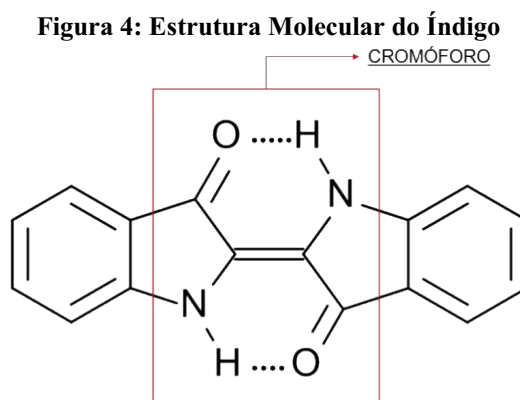
2.1.3 Tingimento

Corantes são substâncias químicas orgânicas com propriedades que resultam na capacidade de absorção de luz visível seletivamente. A partir de sua estrutura química, encontra-se respostas para suas variáveis, devido à presença de grupos cromóforos, tais como nitro, nitroso, azo e carbonila, observa-se cores a partir do tingimento. A intensificação e variação destas cores são responsabilidade dos auxocromos, que são um grupo de átomos ligados a um cromóforo que interferem na capacidade desse cromóforo de absorver luz. Para as moléculas do corante serem estáveis, associa-se à intensidade da ligação química dos átomos dos grupos cromóforos e auxocromos. (SALEM, 2010).

No processo de tingimento, temos aspectos de alta importância, como a montagem do corante, a fixação deste e o tratamento final. A fixação do corante à fibra se dá pelas reações químicas que podem ocorrer em diversas etapas durante a fase cinética e termodinâmica do tingimento. Para garantia de boa fixação, o tratamento final consiste em

uma etapa de lavagem em banho corrente para retirar o excesso de corante original ou hidrolisado não fixado nas operações precedentes. (ALCÂNTARA; DALTIM, 1996).

O jeans de coloração azul é obtido pelo uso do corante Índigo. Este nome se refere à planta indiana denominada *indigus*, na qual sua raiz apresenta este corante. (ABNT; SEBRAE, 2012). É um dos corantes mais antigos e utilizados na indústria têxtil, porém atualmente encontra-se o corante sintético Índigo Blue, que apresenta fórmula molecular $C_{16}H_{10}O_2N_2$ (Figura 4), classificado como corante a cuba ou a tina, segundo Guaratini e Zanoni (2000). É uma classe de corantes baseada nos índigos, tioíndigóides e antraquinóides, são praticamente insolúveis em água, porém durante o processo de tingimento são reduzidos com ditionito, em solução alcalina, transformando-se em um composto solúvel, tomando a forma leuco (solúvel). Posteriormente, é oxidado e se regenera à forma original do corante sobre a fibra.



O índigo apresenta baixa solubilidade por consequência das fortes forças intermoleculares entre as ligações de hidrogênio. O responsável pela cor do corante Índigo é um sistema cruzado conjugado, cromóforo, assim existe uma única ligação dupla, que no processo de tingimento é substituída por dois grupos doadores e dois grupos aceitadores. (VAUTIER; GUILLARD; HERRMANN, 2001).

A fixação do corante na fibra só acontece por meio do processo de redução da molécula do corante. Após essas moléculas terem contato com o oxigênio, ocorre a alcalinidade e oxidação desse corante. Assim, as moléculas se fixam na fibra superficialmente, possibilitando a retirada desse por fricção, ou ação mecânica. (OLIVEIRA, 2008).

Apenas o urdume é tinto, já a trama é crua. Para a indicação da intensidade da cor, é necessário que se controle a submersão do substrato, pois quanto maior for o tempo imerso

no banho com corante Índigo Blue, maior será a intensidade da cor do denim. (ABNT; SEBRAE, 2012).

2.1.4 Preparação à Tecelagem

Na preparação do tecido para o processo de tecelagem, o fio de urdume, depois de tingido, necessita ser engomado, sendo assim revestido por uma espécie de filme com a finalidade de aumentar a resistência mecânica dos fios. (ARAÚJO, 2014).

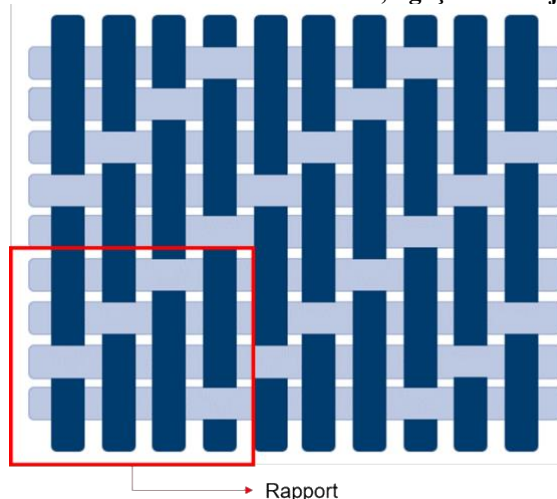
Essa goma pode ser formulada a partir de amido de milho, de batata ou mandioca, necessitando de agentes auxiliares para melhor desempenho. Pode-se usar também o álcool polivinílico, a carboximetilcelulose, o carboximetilamido ou poliacrilatos tanto misturas com amido, quanto formando os *blends* nobres, que são misturas solúveis em água, o que facilita a retirada na pós tecelagem. (ALCÂNTARA; DALTIM, 1996).

2.1.5 Tecelagem

O tecido tradicional do Jeans é o denim, comumente definido como sarja, entrelace diagonal de fios de algodão, que não se limitam às calças e aos tecidos plano, pois atualmente podem ser produzidos também em teares circulares de malharia. (ALEXANDRINO, 2013).

O tecido denim mais tradicional é o índigo blue, feito geralmente com gramatura de 14 oz, que se aproxima a 397,6 gramas. Na tecelagem, apenas o fio de urdume, fios do comprimento do tecido, está tingido com corante índigo; os fios de trama, fios da largura do tecido, não recebem nenhum processo de tinturaria, se apresentam crus. (ABNT; SEBRAE, 2012). A Figura 5 mostra de forma clara a disposição desses fios no tecido.

Figura 5: Entrelaces do tecido denim, ligação de sarja 3x1



Fonte: Autoria própria (2020)

2.1.6 Pós Tecelagem

O denim após a tecelagem traz consigo a goma utilizada para minimizar a fricção do processo de tecimento do tecido, sendo necessário submeter o artigo a lavagens com produtos químicos, para o produto se tornar próprio para uso. (ALMEIDA, 2013).

Assim, se faz necessário que o artigo seja desengomado, processo responsável pela retirada da goma do tecido; enxaguar, para remover sabões detergentes e produtos químicos; e centrifugar para retirar a água do tecido; e por fim, amaciar, regenerando as fibras do tecido para melhorar o toque. (COSTA, 2009).

Também há a necessidade de que o artigo passe por outros processos, como a chamuscagem, a correção da trama e pré encolhimento. A chamuscagem trata-se da eliminação de fibras curtas e soltas utilizando chamas de fogo. Na sanfonadeira faz-se um pré encolhimento, que evita o encolhimento do artigo após a lavagem. (ALBUQUERQUE, 2011).

2.1.7 Confeccção

É no setor da confecção que ocorre a construção das peças, e a partir da modelagem e acabamentos tem-se a peça final. Uma peça com maior valor de custo tem modelagem coerente à linha do corpo humano, traçadas precisas, se adequando a diferentes formas. Antes da produção, ocorrem testes, pesquisas e ajustes da peça piloto para que dê início à sequência operacional da produção. (FRASQUETE; OLIVEIRA, 2009).

A peça piloto guia os processos posteriores da confecção do jeans. Após a pilotagem, é elaborada uma ficha técnica, na qual se descrevem os componentes e as etapas de produção. O molde é graduado com as medidas semelhantes à da peça piloto e encaixado no tecido enfiado, cujos dados métricos do tecido condizem com a mesa de corte. É necessário que os moldes principais, pernas da calça, obedeçam a linha paralela à orela; já as outras peças, podem estar na direção da trama ou assumirem a mesma posição principal. Quando os moldes são colocados na direção do fio de urdume, as peças conferem melhores padrões de qualidade, porém se colocados na posição da trama não resultam em bom caimento. Posteriormente, o tecido é cortado e encaminhado para a confecção, que se trata do manuseio das máquinas de costura com a finalidade de unir as partes da peça final. (SALES, 2003).

2.1.8 Lavanderia

Na década de 80 houve a evolução da lavanderia doméstica (máquinas de lavagem e centrífugas) para as atuais lavanderias industriais de índigo. Antes desse avanço, as peças confeccionadas não apresentavam lavagem alguma, além de serem desconfortáveis, pois ainda estavam enrijecidas devido à goma presente no tecido. Assim, além das características de customização da lavanderia industrial, houve a necessidade de se amaciar o jeans, para melhor conforto dos consumidores. (OLIVEIRA, 2008).

A lavanderia é um dos beneficiamentos mais importantes na produção do *jeanswear*, responsável pela transformação de cor, conforto e acabamento. No mercado, se encontram diferentes procedimentos que ofertam efeitos de diferentes aspectos. (ALMEIDA, 2013).

O Quadro 1 mostra os processos mais usuais na caracterização de acabamentos do *jeanswear*.

Quadro 1: Processos na Lavanderia

| Tipo de Lavagem | Características |
|------------------------|---|
| <i>Stone Washed</i> | Usa-se máquinas com tambores rotativos com pedras imersas que entra em contato com as peças provocando seu desgaste e desbotamento. |
| <i>Acid wash</i> | Batimento de pedras pomes juntamente com cloro trazendo um alveijamento mais nítidos. |
| <i>Hand Brushed</i> | Escova-se a peça no sentido do urdume ou da trama, proporcionado desgaste localizado. |
| <i>Destroyed</i> | Confere a peça aparência de destruído, muito similar à estonagem, porém utiliza-se enzimas que corroem levemente a fibra para resultar nessa aparência. |
| Lixado | Abrasão por meio de lixas em áreas específicas. |
| Detonado | Efeitos a partir de um instrumento denominado esmeril, que desgasta ou até mesmo corta as regiões em contato com a peça. |
| <i>Used</i> | Pistola que contém produtos descolorantes para clarear as regiões desejadas. |
| <i>Sand Washed</i> | Processo em que se insere areia para obter aspecto envelhecido nas peças. |
| <i>Enzyme wash</i> | Utiliza-se enzimas que aceleram reações naturais, sendo uma segunda alternativa para o <i>Stone Washing</i> . |

Fonte: Adaptado de Pereira (2008)

Um dos primeiros processos que surgiu e que se destaca na atualidade, é a estonagem, onde se atribui um aspecto envelhecido às peças em jeans. Este processo elimina o corante

índigo presente na superficialmente no fio de urdume, é obtido por meio de interações com agentes químicos, pedras ou enzimas, onde o valor agregado a peça é evidenciado no aspecto visual.

Quando se utiliza as pedras (stone wash), estas podem ser de origem vulcânica (pomes, rocha vulcânica) ou agregado leve, as cinasitas (argila expandida), processo este considerado abrasivo, pois elimina a cor do índigo por meio da ação do atrito entre as pedras e as peças. Já a estonagem por enzimas, são utilizadas as celulases que atuam sobre o jeans, sendo as enzimas ácidas as que apresentam os melhores resultados por apresentarem maior afinidade para o corante índigo, porém apresentam a maior incidência de migração do corante, dessa forma, a utilização das enzimas neutras é mais usual. (GOUVEA *et al.*, 2018).

Estes efeitos agregam valor à peça, porém os componentes químicos utilizados agredem o ambiente e acarretam problemas na saúde de quem circunda os locais de despejo dos resíduos da lavanderia. Muitas vezes trata-se esses efluentes reutilizando a água residual ou com tratamentos que possam purificar a água para que retorne ao meio ambiente. (ALMEIDA, 2013).

2.2 Efluentes Têxteis

As etapas de beneficiamento e acabamento de artigos têxteis necessitam de grande quantidade de água e assim, descarta diferentes tipos de resíduos tóxicos. Os processos que mais se utiliza água são, a lavagem e tingimento das peças, além do alto consumo, também geram efluentes líquidos de enorme complexidade química e que demonstram resistência aos tratamentos convencionais, como é o caso dos banhos residuais que apresentam corantes e outros compostos orgânicos e inorgânicos. (GAYLARDE; BELLINASSO; MANFIO, 2005).

As águas residuais e os efluentes industriais devem ser descartados de forma apropriada pois além da preocupação pública referente a essa vertente, existem sanções legais conforme a legislação vigente. Porém seu descarte e tratamento é um grande desafio técnico para a comunidade científica, pois os resíduos industriais são múltiplos em relação à sua composição química. (FLORÊNCIO; MALPASS, 2014).

Nas lavanderias, os efluentes têxteis têm como principal características uma coloração acentuada, devido os corantes utilizados na etapa de tingimento. Estima-se que é liberado de 10 a 15% da carga de corante durante o processo, sendo assim, o descarte desses efluentes sem o tratamento prévio adequado, acarreta em diversos problemas como a eutrofização do meio, dificultando a penetração da luz solar nas camadas mais profundas. (ALMEIDA; CORSO, 2019; CARNEIRO *et al.*, 2010).

Os efluentes das lavanderias geralmente são alcalinos, altamente coloridos, com grandes quantidades de sabões e detergentes sintéticos, óleos e graxas, sujidades e corantes, além disso apresentam uma DBO (Demanda Biológica de Oxigênio) 2 a 5 vezes maior que dos esgotos domésticos. O processo de lavagem desprende fibras de tecidos, de tamanhos variados desde fibras visíveis a olho humano a somente visíveis por microscópio, assim, o efluente gerado apresenta carga orgânica, coloração, uma baixa tensão superficial e uma quantidade significativa de sólidos. (WOLLNER *et al.*, 1954).

Segundo a Unesco (2017), o descarte de efluentes inadequadamente, afeta também a disponibilidade de água doce, pois altera a qualidade da água dos corpos hídricos, tornando-a imprópria para atividades, que inclui o consumo humano.

Fotocatálise Heterogênea

A partir da necessidade de novas alternativas para tratamento de efluentes, que geralmente apresentam certa complexidade, surgiram os Processos Oxidativos Avançados (POAs), uma alternativa para a remoção de poluentes, presentes principalmente em efluentes com elevada carga orgânica. (COMNINELLIS *et al.*, 2008).

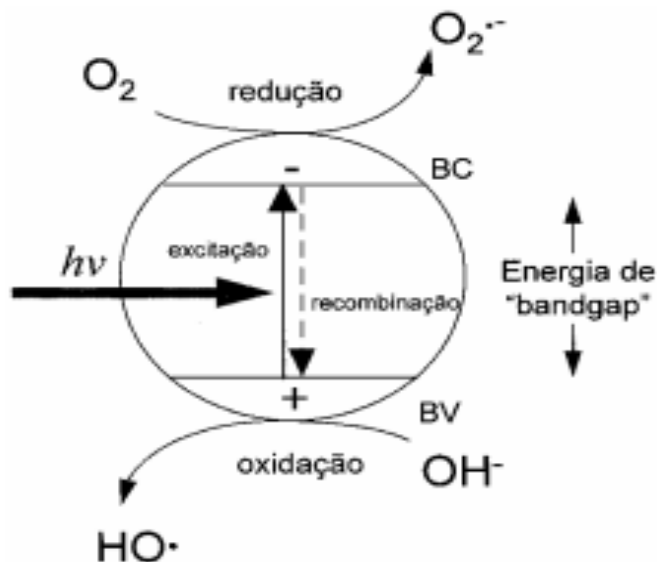
Estes processos se destacam em meio aos processos de tratamento alternativos, pois segundo Pignatello *et al.* (2006), com a presença do radical hidroxila ($\text{OH}\cdot$) altamente reativo e com capacidade de oxidar e decompor várias espécies tóxicas, estes processos resultam em um tratamento de resíduos eficaz, pois transformam os poluentes, parcial ou totalmente, em compostos simplificados e de fácil degradação por tecnologias comuns.

A formação do radical $\text{OH}\cdot$ em meio aquoso ocorre pela aplicação da radiação UV ou utilização de agentes oxidantes. Esse radical apresenta potencial de redução superior aos das demais espécies oxidantes presentes no meio, podendo ocorrer a mineralização de espécies orgânicas presentes em efluentes, dependendo das condições operacionais (AZBAR *et al.*, 2004). Sendo os POAs, processos limpos e não seletivos, podem degradar vários compostos mesmo em presença de outros. (TEIXEIRA & JARDIM, 2004).

O processo da fotocatalise heterogênea é a irradiação de um fotocatalisador (semicondutor inorgânico), como o dióxido de titânio (TiO_2), na qual a energia do fóton presente deve ser maior ou igual à energia da *band gap* do semicondutor (quantidade mínima de energia necessária para excitar o elétron, representado na Figura 6), resultando assim na transição eletrônica, que basicamente consiste em um elétron sendo promovido da banda de valência (BV) para a banda de condução (BC), onde formam sítios oxidantes e redutores

capazes de catalisar reações químicas, oxidando compostos orgânicos e reduzindo metais dissolvidos ou outras espécies presentes. (ZIOLLI; JARDIM, 1998).

Figura 6: Representação Esquemática da Partícula do Semicondutor



Fonte: Nogueira e Jardim (1997)

A fotocatalise heterogênea consiste na utilização do fotocatalisador não homogêneo com o meio, neste caso, não solubilizado em água. Pode-se utilizar o fotocatalisador no reator de duas formas, em suspensão ou imobilizado, sendo vantajosa a utilização em suspensão devido à vasta área superficial do catalisador disponível para a reação, além da eficiência no processo de transferência de massa no sistema em comparação ao fotocatalisador imobilizado. (SILVA, 2011).

Diante da capacidade de degradação do corante índigo presente no efluente acredita-se que o processo tem capacidade para degradar o corante presente na superfície da peça, tendo assim a principal vantagem desse processo: não haverá a geração de efluente colorido, acarretando em ganhos ambientais e aplicação de uma tecnologia limpa na etapa do beneficiamento do jeans em lavanderias industriais.

materiais e métodos

1. Materiais

As amostras de denim utilizadas nos ensaios foram obtidas junto ao laboratório de lavanderia industrial da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Apucarana. O catalisador utilizado foi o dióxido de titânio (TiO_2) – Anatase, da empresa Cosmo Chem. Este composto é bastante indicado como fotocatalisador para tratamento de água e efluentes, devido ao fato de ser altamente fotorreativo, com preço acessível, não tóxico e fotoestável. (RIZZO; BELGIORNO; ANDERSON, 2007). Os outros reagentes utilizados para controle de pH da solução, NaOH (Hidróxido de Sódio) e H_2SO_4 (Ácido Sulfúrico), foram de grau analítico.

Para realização do trabalho foi necessária a utilização de: balança de precisão (Bel), Figura 7, pHmetro (Instrutherm), Figura 8, reator fotocatalítico de lama (construído pelo grupo de pesquisa GETECA), Figura 9, espectrofotômetro portátil para análise de cor em tecidos (Delta Color), Figura 10.

Figura 7: Balança de precisão



Fonte: Autoria própria (2019)

Figura 8: PHmetro



Fonte: Autoria própria (2019)

Figura 9: Reator

Fonte: Autoria própria (2019)

Figura 10: Espectrofotômetro

Fonte: Autoria própria (2019)

2. Métodos

1. Amostra

Foram utilizadas amostras de jeans cru, sem lavagem, gramatura de 30 g/m² cortadas em tamanhos aproximados de 5 cm².

As amostras foram submersas em uma solução de catalisador e água, apresentando pH devidamente controlado de acordo com o planejamento experimental.

2. Planejamento Experimental

As soluções foram preparadas de acordo com o planejamento experimental em um béquer de 250 mL, variando o pH, concentração e tempo, de acordo com o planejamento

experimental do tipo delineamento composto central rotacional (DCCR) com três parâmetros, conforme mostrado na Tabela 1 e Quadro 2.

Tabela 1: Parâmetros Utilizados no Experimento de acordo com o delineamento composto central rotacional com 3 parâmetros

| Parâmetros | -1,68 | -1 | 0 | +1 | +1,68 |
|-------------------|----------|-------|-------|--------|-----------|
| pH | 3,6 | 5 | 7 | 9 | 10,4 |
| Catalisador (g/L) | 0,5 | 0,5 | 0,75 | 1 | 1 |
| Tempo | 39min36s | 60min | 90min | 120min | 140min24s |

Fonte: Aatoria própria (2019)

Quadro 2: Condições de ensaio de acordo com o delineamento composto central rotacional com 3 parâmetros

| Amostra | Variáveis | | |
|---------|-------------|-------|-------|
| | Catalisador | pH | Tempo |
| 1 | -1 | -1 | -1 |
| 2 | +1 | -1 | -1 |
| 3 | -1 | +1 | -1 |
| 4 | +1 | +1 | -1 |
| 5 | -1 | -1 | +1 |
| 6 | +1 | -1 | +1 |
| 7 | -1 | +1 | +1 |
| 8 | +1 | +1 | +1 |
| 9 | -1,68 | 0 | 0 |
| 10 | +1,68 | 0 | 0 |
| 11 | 0 | -1,68 | 0 |
| 12 | 0 | +1,68 | 0 |
| 13 | 0 | 0 | -1,68 |
| 14 | 0 | 0 | +1,68 |
| 15 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | 0 | 0 | 0 |

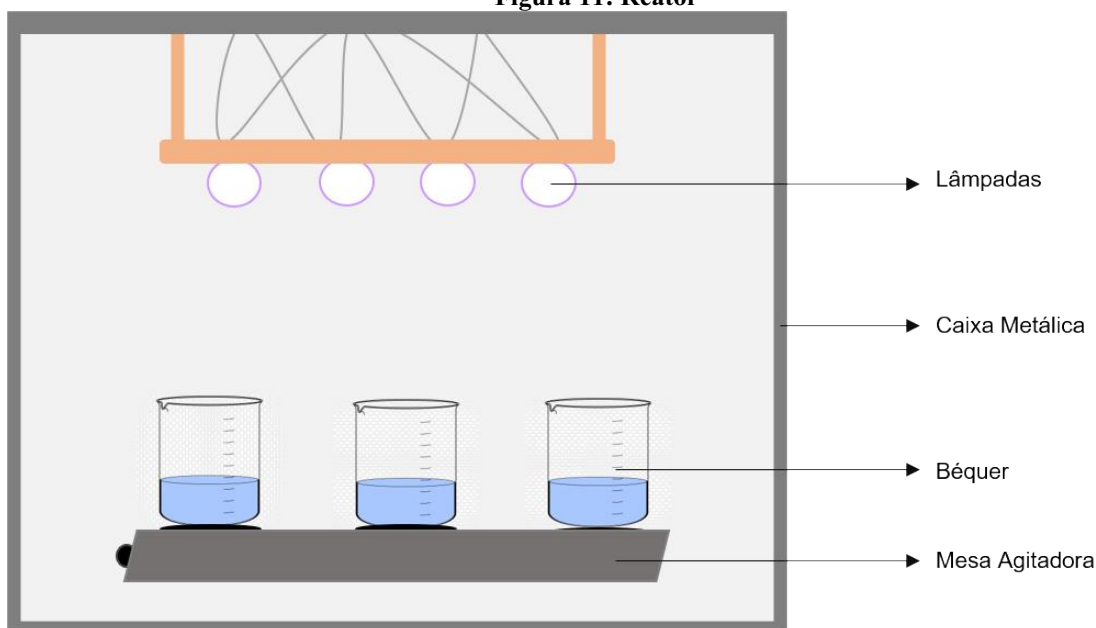
Fonte: Aatoria própria (2019)

Para o processo, foram medidos 200mL de água em uma proveta e adicionou-se a massa estabelecida de TiO₂, então ajustou-se o pH com NaOH ou H₂SO₄.

3. Experimento e Reator

Os ensaios da fotocatalise foram realizados em reator tipo lama, representado na Figura 11, em escala de bancada, instalado no Laboratório do Grupo de pesquisa GETECA, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Figura 11: Reator



Fonte: Autoria própria (2020)

Esse reator é composto de um agitador magnético multi-posições, sobre o qual são posicionados os béqueres. Sobre os béqueres estão posicionadas as quatro lâmpadas germicidas de 15 W cada, totalizando uma fonte de radiação ultravioleta de 60 W. Todo o sistema foi isolado ambientalmente, por meio de uma caixa metálica, evitando a dissipação da radiação e promovendo a reflexão da radiação em todas as direções dentro do reator.

A solução contendo a amostra de jeans foi preparada no béquer, que foi posicionado no reator, e durante 10 minutos permaneceu sob agitação no escuro para ocorrer a adsorção inicial, ou seja, inicia-se o processo de transferência das partículas residuais do clareamento para a superfície do semicondutor. Após esse tempo as lâmpadas foram ligadas e a solução permaneceu durante o tempo estabelecido de acordo com o planejamento experimental.

No final do processo, as amostras foram lavadas com água corrente e secas em temperatura ambiente para análise da coloração. O efluente foi armazenado em garrafas plásticas sob refrigeração e analisado visualmente quanto à presença de cor.

4. Avaliação Espectrofotométrica das Amostras de Tecido

As amostras de jeans foram analisadas pelo espectrofotômetro Delta Color, obtendo cores pelo modelo de cor CIE LAB.

A *Comission Internationale de L'Eclairage* (CIE) é uma organização internacional que se aprofunda no estudo de luz e cor, desenvolvendo métodos para expressar numericamente as cores. Um dos modelos propostos foi o de mensuração cromática $L^*a^*b^*$,

descrito em 1976. Este modelo considera três eixos espaciais perpendiculares entre si, onde os pontos fornecem diferenças numéricas mais uniformes comparadas às diferenças visuais, através do dispositivo de mensuração de cor, o espectrofotômetro. (CHU; TRUSHKOWSKY; PARAVINA, 2010).

O sistema de cores CIE $L^*a^*b^*$ refere-se a três coordenadas, sendo L^* à luminosidade do objeto a ser observado, podendo variar do preto ao branco, a^* consiste na medida do croma no eixo vermelho ao verde e b^* é a medida do croma no eixo amarelo ao azul (CIE, 1986). Esse sistema combina matematicamente as diferenças entre L^* , a^* e b^* gerando a diferença de cor (ΔE) entre o material padrão utilizado como referência e o material a ser analisado em comparação. Uma das vantagens do sistema CIELAB é que as diferenças de cor podem ser expressas em unidades relacionadas com a percepção visual e o significado clínico. (HASSEL *et al.*, 2009).

5. Avaliação do Banho Residual

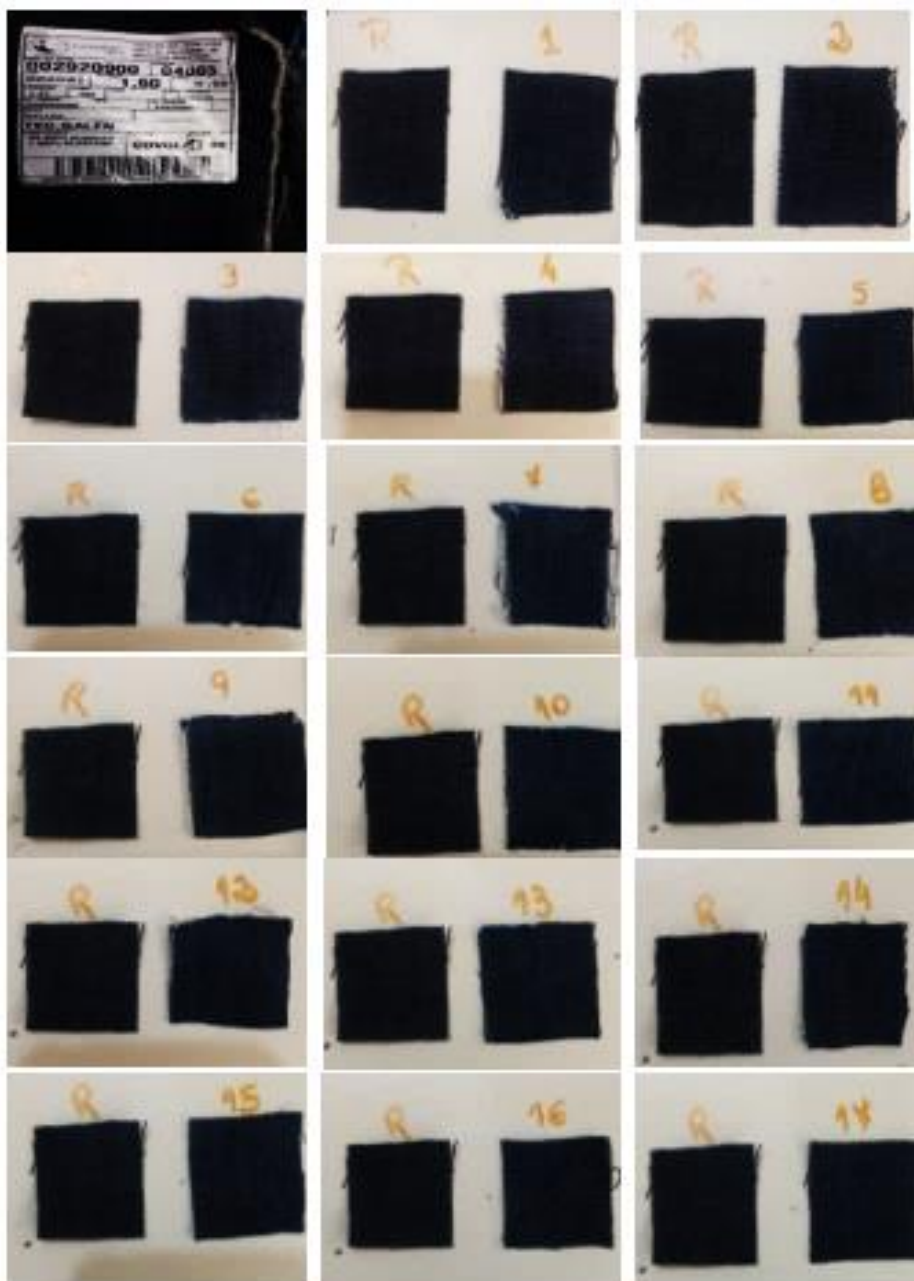
Foi realizada apenas uma análise visual comparando a cor da amostra à água destilada, visto que nos processos tradicionais o banho residual apresenta uma coloração azul intensa.

resultados e discussão

1. Análise do Tecido

As amostras de jeans devidamente clareadas após o processo da fotocatalise heterogênea podem ser observadas na Figura 12, sendo a amostra R o padrão de referência do jeans sem lavagem.

Figura 12: Amostras clareadas

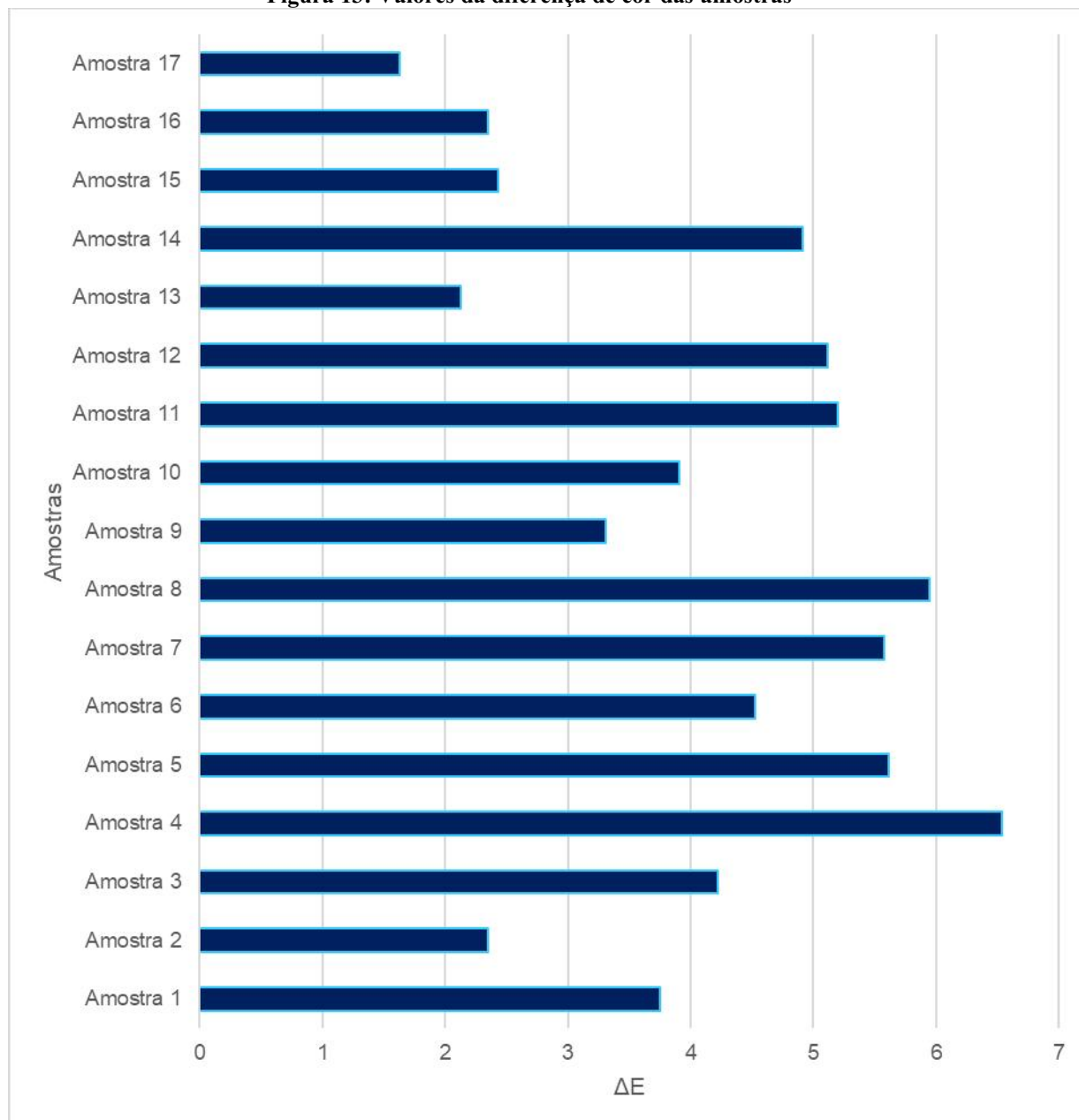


Fonte: Autoria própria (2020)

A partir das amostras clareadas obteve-se o valor do ΔE , que consiste na diferença ou na distância entre duas cores a partir de uma expressão numérica, que avalia a diferença de

cor (delta) de um padrão conhecido; assim, quanto maior a diferença entre a amostra e o padrão, ΔE , maior será o clareamento do jeans. A Figura 13 mostra o resultado da diferença de cada amostra em comparação com a amostra padrão, de jeans cru (sem lavagem).

Figura 13: Valores da diferença de cor das amostras



Fonte: Autoria própria (2020)

Quando o ΔE de duas cores for menor que 1 unidade ($\Delta E < 1$), as cores são consideradas iguais. Já se o valor de ΔE for maior que 2 unidades, todos os observadores conseguem detectar as diferenças de cor, mas geralmente o limite de diferença de cor é de 3,7 unidades ΔE , perceptíveis a olho nu. (JOHNSTON, 1989).

A amostra 4 apresentou maior variação de cor com um ΔE de 6,5 ou seja, é a que mais clareou a partir do processo de fotocatalise heterogênea, em pH 9, 1 g/L de catalisador por 60 minutos. Subsequente a amostra 8 com ΔE igual a 5,9, apresentou um bom resultado com os mesmos parâmetros variando apenas o tempo, 120 minutos.

Análise das variáveis em relação ao ΔE

De acordo com a análise do planejamento central composto rotacional realizada utilizando o *software* Statistica (v. 10, Statsoft Inc.), temos a seguinte tabela de efeitos (Tabela 2), considerando o nível de significância de 95% (p-valor < 0,05).

Tabela 2: Tabela de efeitos dos parâmetros: tempo, pH e concentração de catalisador sobre a resposta ΔE

| | Efeito | Erro Padrão | t(7) | p-valor | -95,% - limite de confiança | +95,% - limite de confiança |
|-------------|-----------|-------------|----------|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Media | 2,099183 | 0,459321 | 4,57018 | 0,002574 | 1,01306 | 3,185306 |
| (1)t (L) | 1,391585 | 0,431403 | 3,22572 | 0,014538 | 0,37148 | 2,411690 |
| t (Q) | 1,243560 | 0,474821 | 2,61901 | 0,034459 | 0,12079 | 2,366335 |
| (2)pH (L) | 0,865139 | 0,431403 | 2,00541 | 0,084939 | -0,15497 | 1,885244 |
| pH (Q) | 2,402714 | 0,474821 | 5,06025 | 0,001463 | 1,27994 | 3,525488 |
| (3)[cat](L) | 0,179929 | 0,431403 | 0,41708 | 0,689113 | -0,84018 | 1,200034 |
| [cat](Q) | 1,307659 | 0,474821 | 2,75400 | 0,028340 | 0,18488 | 2,430433 |
| 1L by 2L | -0,821764 | 0,563655 | -1,45792 | 0,188218 | -2,15460 | 0,511067 |
| 1L by 3L | -0,400648 | 0,563655 | -0,71080 | 0,500196 | -1,73348 | 0,932183 |
| 2L by 3L | 1,290081 | 0,563655 | 2,28878 | 0,055908 | -0,04275 | 2,622912 |

Fonte: Autoria própria (2020)

Desta forma, os parâmetros significativos do processo foram: o termo linear e o termo quadrático do tempo, o termo linear do pH e o termo quadrático da concentração de catalisador. Todos os efeitos significativos foram positivos, mostrando que existe uma proporcionalidade direta entre os parâmetros e a variável de resposta, ΔE , por exemplo: aumentando o tempo obteve-se um aumento de ΔE . O mesmo ocorre com o aumento do pH

e o aumento da concentração de catalisador. Este resultado pode ser observado também nas superfícies de resposta.

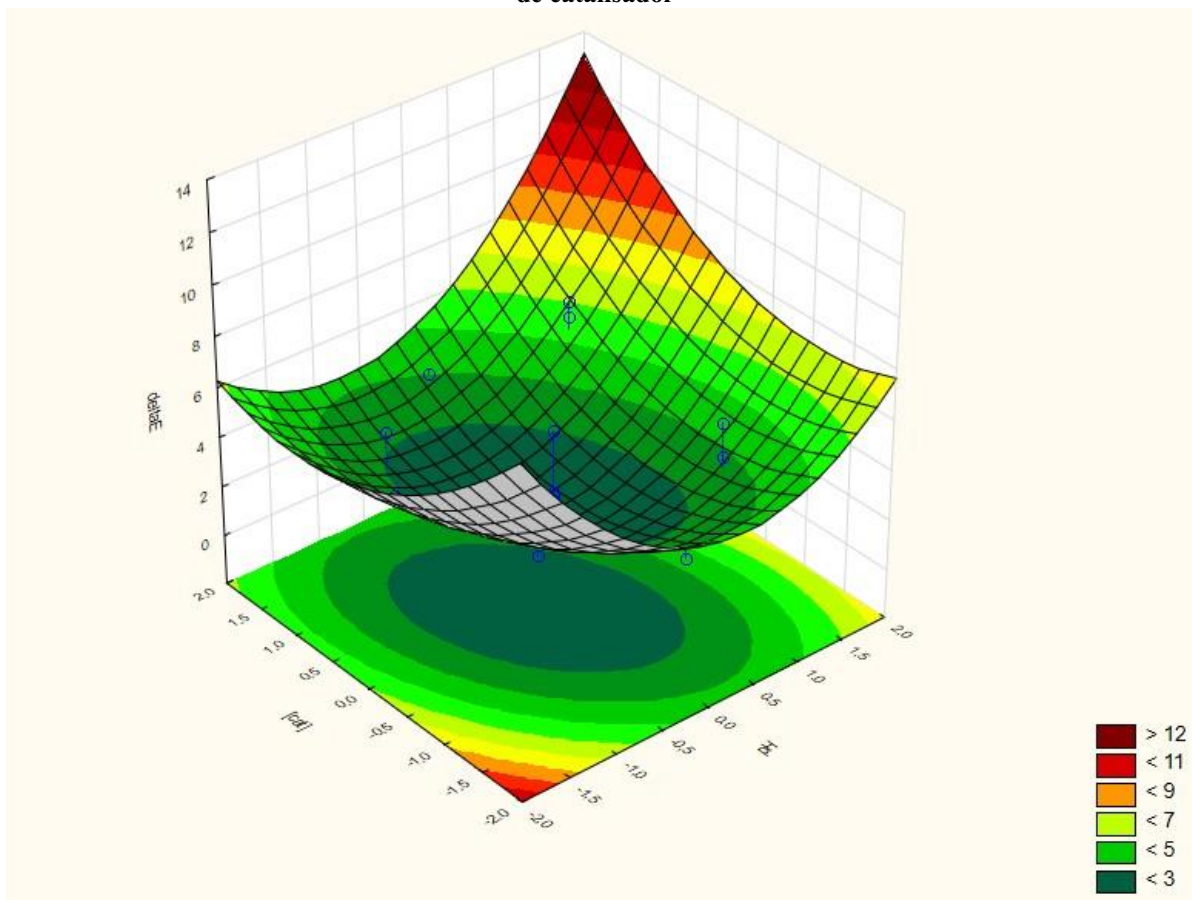
Na superfície de resposta que apresenta o ΔE em função da variação do pH e da concentração do catalisador (Figura 14), observa-se que conforme aumentam esses dois parâmetros, a variação colorística também aumenta, ou seja, há uma maior degradação da coloração da amostra.

Peralta-Zamora *et al.* (1998) afirmam que o pH da solução pode alterar as propriedades superficiais do catalisador, relacionadas com o equilíbrio ácido-base dos radicais hidroxil adsorvidos, e altera os níveis de energia do semiconductor, interferindo na posição das bandas de condução e de valência, conseqüentemente, na formação dos radicais hidroxila.

Essa maior degradação em pH alcalino pode ser explicada então pelo aumento de íons hidroxila (OH^-) no meio, sendo estes radicais altamente oxidantes, quanto mais radicais são formados, maior será o percentual de cor degradado. (GUPTA *et al.*, 2011).

Outra justificativa seria o fato do corante índigo ser insolúvel em água, sendo reduzido em solução alcalina, transformando-se em um composto solúvel (forma leuco), facilitando assim o clareamento já que em sua forma leuco apresenta uma fraca ligação corante-fibra. (GUARATINI; ZANONI, 2000).

Figura 14: Superfície de resposta para a resposta ΔE em função da variação do pH e da concentração de catalisador

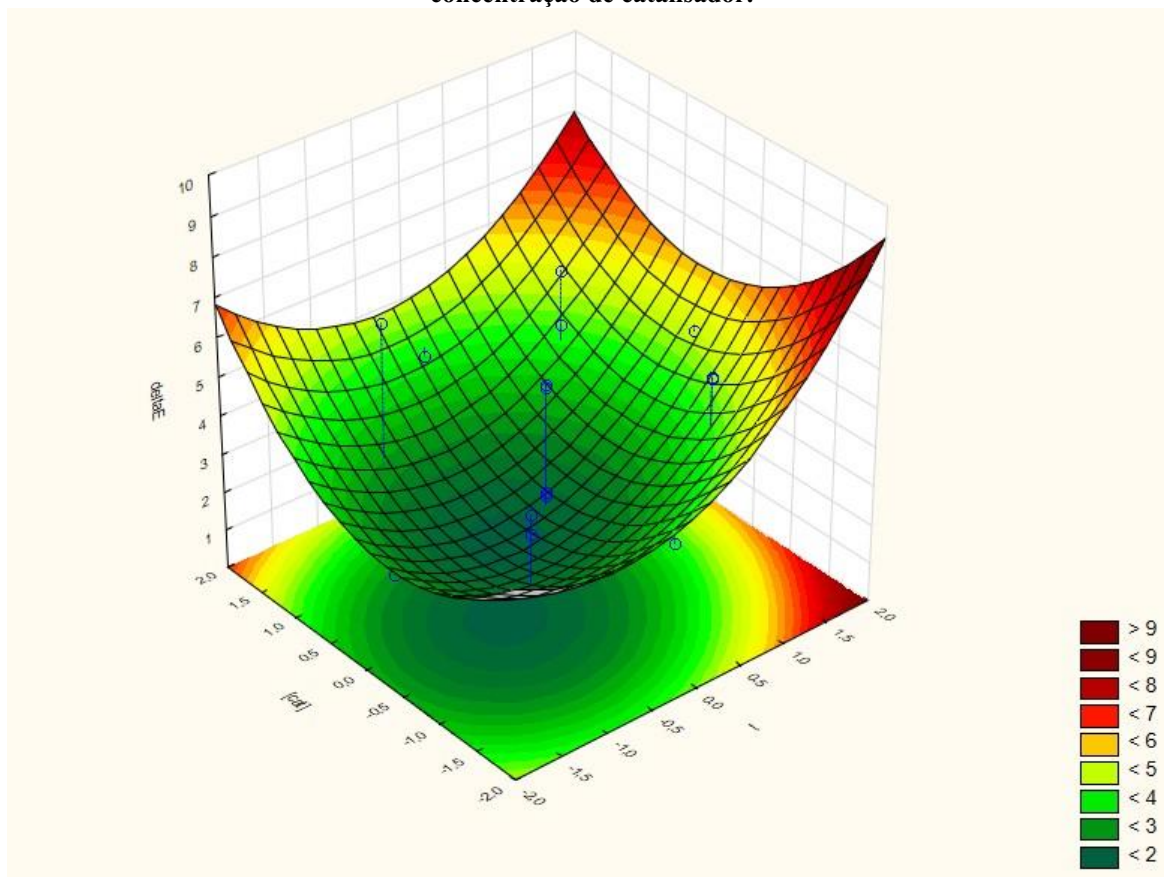


Fonte: Autoria própria (2020)

A Figura 15 representa a resposta ΔE em relação à variação do tempo e da concentração do catalisador. Pode-se analisar que a maior eficiência de degradação pode ser atribuída a maiores quantidades de sítios ativos, devido à maior área específica de contato entre o TiO_2 ativado e as espécies moleculares que podem formar os radicais que desencadeiam a decomposição do corante, sendo essa maior área relacionada à maior concentração de catalisador presente no banho da amostra. (ALBARELLI; SANTOS; MURPHY 2009).

Algumas características do catalisador são de extrema importância quando aplicados em processos de fotocatalise, sendo elas sua morfologia e tamanho da partícula. Pelo fato dos radicais $\text{OH}\cdot$ serem gerados na superfície do catalisador, espera-se que quanto maior seja a área superficial específica, maior será a formação de radicais, com isso a taxa de degradação do poluente será maior. Entretanto, os estudos de Teixeira & Jardim (2004), afirmam que existe um limite de área superficial ideal, a qual resultará na degradação máxima de compostos orgânicos.

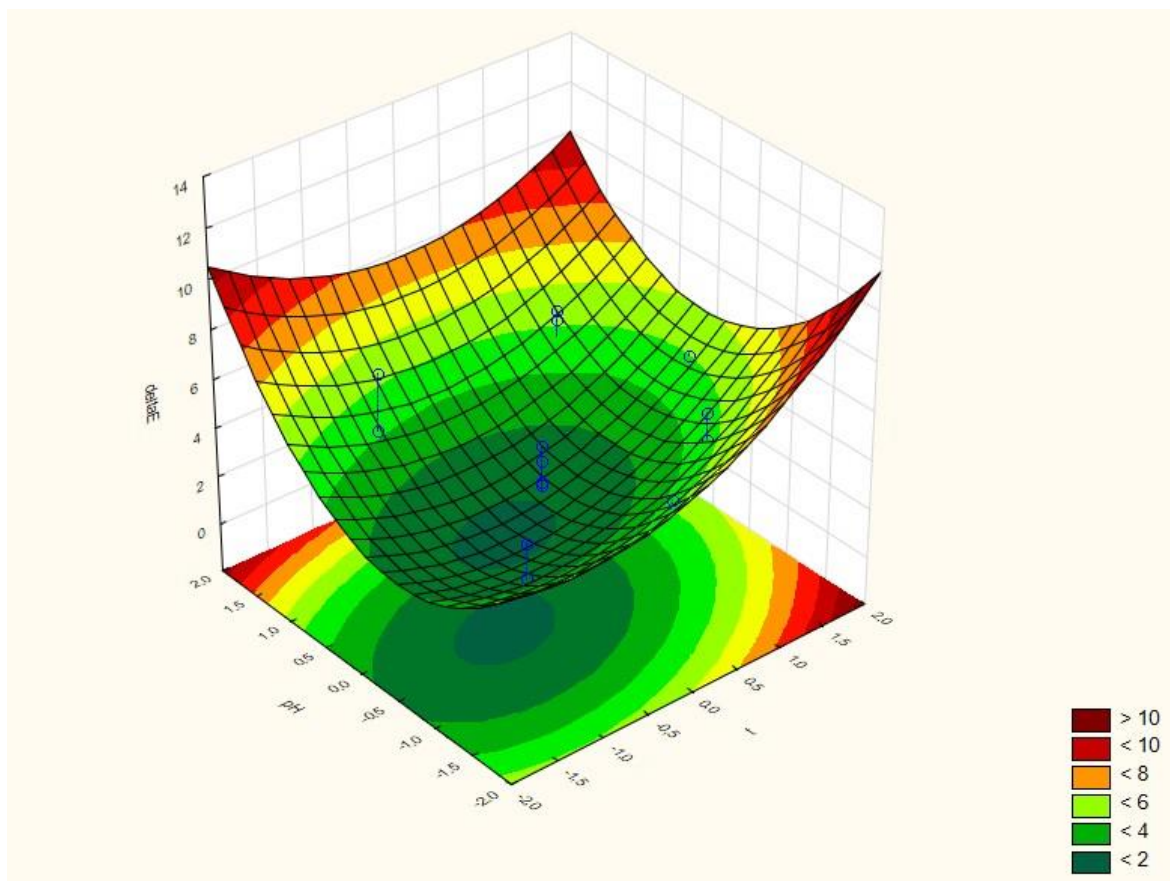
Figura 15: Superfície de resposta para a resposta ΔE em função da variação do tempo e da concentração de catalisador.



Fonte: Autoria própria (2020)

Na Figura 16, tem-se a comparação da variação do pH e do tempo, na qual em um menor tempo obteve-se melhor desempenho se comparado ao de maior tempo, comportamento este explicado por Herrmann (2010), que atribui os valores máximos obtidos em uma reação pela utilização do máximo de reagente. Entende-se que em um determinado momento será atingido o máximo de rendimento, no qual o aumento do tempo de irradiação do sólido não irá mais influenciar no processo.

Figura 16: Superfície de resposta para a resposta ΔE em função da variação do pH e do tempo

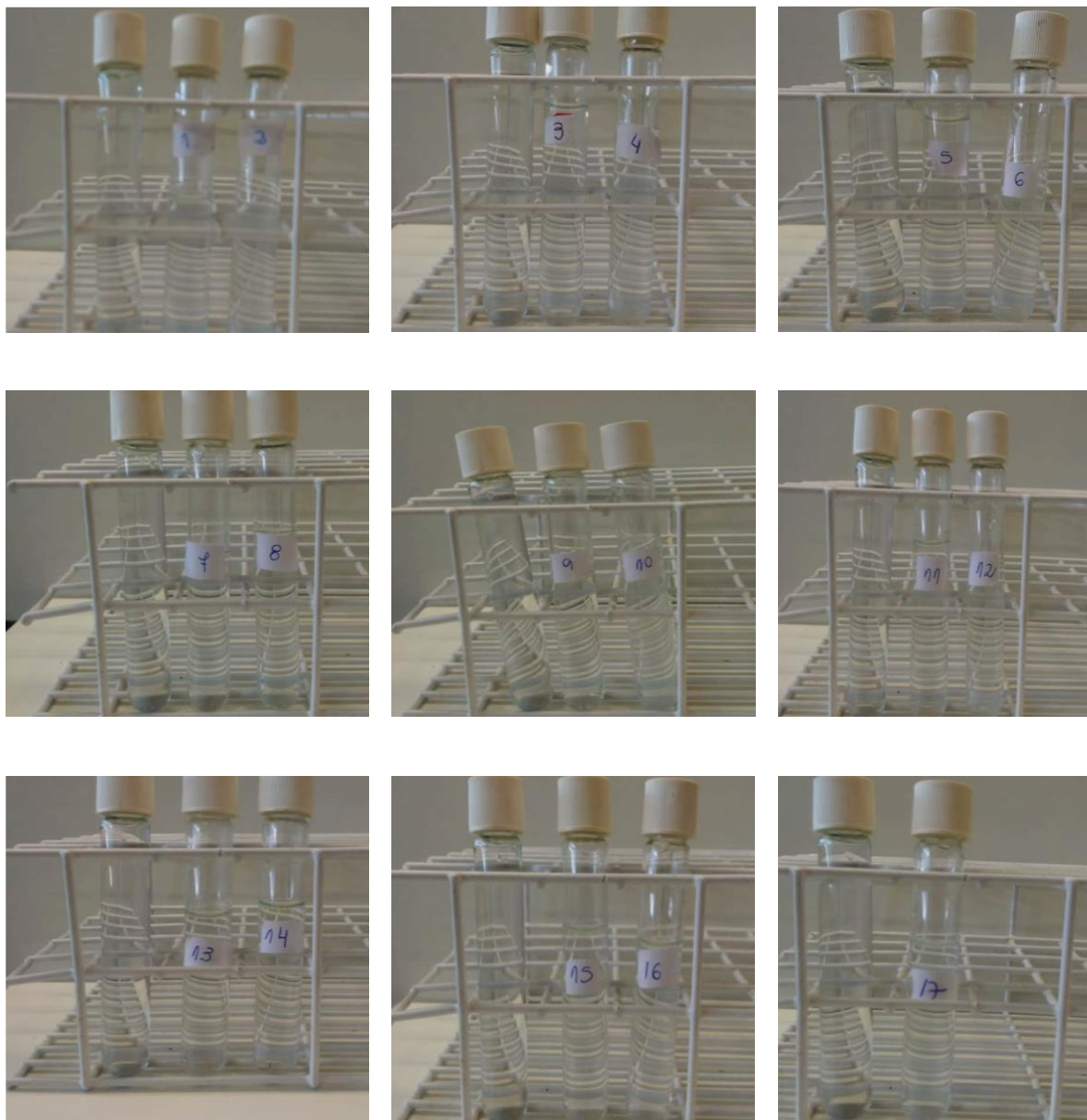


Fonte: Autoria própria (2020)

Análise do Banho Residual

A Figura 17 apresenta as amostras dos banhos residuais de cada ensaio (marcadas com o número do ensaio) em comparação à água destilada (tubo sem marcação). Observa-se que a coloração azul não é perceptível a olho nu, e é visivelmente próxima à coloração da amostra de água destilada.

Figura 17: Comparação da coloração dos banhos residuais dos ensaios (tubos com numeração) com água destilada (tubos sem marcação).



Fonte: Autoria própria (2020)

A não geração de coloração no efluente é de extremo impacto nas resultantes desse trabalho, pois se apresenta como uma alternativa mais sustentável, além de uma otimização de processo. Sugere-se que estudos mais detalhados sejam realizados para identificar se o corante foi degradado no tecido ou no banho, além de uma análise comparativa com processos convencionais, já que estes apresentam grande carga de cor.

conclusão

Com a intenção de clarear e tratar o efluente gerado, apresentando uma diferente alternativa para os processos comumente utilizados, além de ser um processo mais sustentável, este trabalho atingiu seu objetivo ao clarear jeans a partir da fotocatalise heterogênea.

Dentro das faixas estudadas dos parâmetros pH, tempo e concentração de catalisador, os melhores resultados foram obtidos para os valores máximos dos mesmos: pH > 9,0 e concentração de catalisador > 1,0 g/L, como apresentado nos ensaios 4 e 8. Nos respectivos resultados, o valor obtido de ΔE foi de 6,54 e 5,95, sendo que o melhor deles ocorreu no menor tempo.

Além do clareamento do jeans, o experimento apresentou como efluente do processo, banhos residuais visualmente equivalentes à água destilada, sem coloração do corante índigo presente nas amostras utilizadas, o que nos remete a um fator importante em relação aos efluentes descartados pelas lavanderias, já que a coloração acentuada dos efluentes é umas das suas principais características.

REFERÊNCIAS

ABIT (Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção). Têxtil e confecção. **Perfil do Setor**. São Paulo, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR12744**: Fibras Têxteis-Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas); SEBRAE (Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas). **Guia de implementação**: Normas para confecção de jeans [recurso eletrônico] / Associação Brasileira de Normas Técnicas, Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. Rio de Janeiro: ABNT/ SEBRAE, 2012.

ALBARELLI, J. Q.; SANTOS, D. T.; MURPHY, S.; Oelgemoller, M.; Use of ca-alginate as a novel support for TiO₂ immobilization in methylene blue decolorisation. **Water Sci. Technol.** 2009.

ALBUQUERQUE, W. M. S. de. **Estudo da secagem de tecido jeans**. 2011. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

ALCÂNTARA, M. R.; DALTIM, D. A Química do processamento têxtil. **Química Nova**, São Paulo, v. 19, 1996.

AL-DEGS, Y.; KHRAISHEH, M.A.M.; ALLEN, S. J.; AHMAD, M.N. Effect of carbon surface chemistry on the removal of reactive dyes from textile effluent. **Wat. Res.** Vol. 34, No. 3. Great Britain, 2000.

ALEXANDRINO, C. A. **Desenvolvimento de produto inovador em uma empresa Jeans Wear**. 2013. 110 f. TCC (Graduação) - Curso de Curso Superior de Tecnologia em Design de Moda, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, 2013.

ALMEIDA, E. J. R.; CORSO, C. R. Decolorization and removal of toxicity of textile azo dyes using fungal biomass pelletized. **International journal of environmental science and technology**, v. 16, n. 3, 2019.

ALMEIDA, M. D. de. **A moda contemporânea e a sustentabilidade no jeanswear**: estudo de caso. 2013. 172 f. Tese (Doutorado) - Curso de Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Bauru, 2013.

ARAÚJO, T. M. de. **Estudo de processos e efluentes de empresas cidade de jardim de Piranhas - RN**. 2014. Tese (Doutorado) - Curso de Química, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014.

AZBAR, N.; YONAR, T.; KESTIOGLU, K. Comparison of various advanced oxidation processes and chemical treatment methods for COD and color removal from polyester and acetate fiber dyeing effluent. **Chemosphere**, v. 55, n. 1, 2004.

BEZERRA, F. D. **Análise retrospectiva e prospectiva do setor têxtil no Brasil e no Nordeste**. Informe Macroeconomia, Indústria e Serviços, Fortaleza, Ano VIII, n. 2, 2014.

BONANCÊA, Carlos Eduardo. **Estudo dos mecanismos de fotodegradação de corantes sobre dióxido de titânio através de técnicas de Espectroscopia Raman Intensificadas**. 2005. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Instituto de Química, Universidade São Paulo, São Paulo, 2005.

CARNEIRO, P. A.; UMBUZEIRO, G.A.; OLIVEIRA, D. P.; ZANONI, M. V. B. Assessment of water contamination caused by a mutagenic textile effluent/dyehouse effluent bearing disperse dyes. **Journal of hazardous materials**, v. 174, 2010.

CHU SJ, TRUSHKOWSKY RD, PARAVINA RD. Dental color matching instruments and systems. Review of clinical a research aspects. **J Dent**. 2010.

CIE, Commission Internationale de L'Eclairage. Colorimetry. 2nd ed. Wien: Central Bureau of the CIE; 1986.

COMNINELLIS, C.; KAPALKA, A.; MALATO, S.; PARSONS, S. A.; POILIOS, I.; MANTZAVINOS, D. Advanced oxidation processes for water treatment: advances and trends for R&D. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v. 83, n. 6, 2008.

COSTA, A. F. S. *et al.* Jeans beneficiado possibilita valor agregado às confecções no Agreste Pernambucano. *In: COLÓQUIO DE MODA*. 2009. **Anais**. Recife: Universidade Católica de Pernambuco, 2009.

DALPONTE, I. **Degradação fotocatalítica de tartrazina com TiO₂ imobilizado em esferas de alginato**. Dissertação (Mestrado). Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Paraná, Brasil, 2015.

DIAS, F. F. da S.; SILVA, P. B. V.; SANTOS, A. F. de M. S.; ANDRADE, J. G. P.; ALBUQUERQUE, I. L. T. Tratamento de Efluente Têxtil através de Processo Oxidativo Avançado (H₂O₂/TiO₂/UV). **Revista Geama**, Pernambuco, 2018.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Algodão de alta produtividade e qualidade superior de fibra é apresentado na Tecnoshow Comigo**. 2018.

FIGUEIREDO, G. C.; CAVALCANTE, A. L. B. L. Calça Jeans - Produtividade e Possibilidades Sustentáveis. **Projética**. Londrina, 2010.

FLORÊNCIO, T. M.; MALPASS, G. R. P. A brief explanation about environmental licenses in Brazil. **The Nexus – American Chemical Society**, 2014.

FRASQUETE, D.; OLIVEIRA, H. P.. **Contribuição das etapas de produção para o encarecimento das peças em denim**. *In: Encontro Paranaense de Moda Design e Negócios*. Universidade Estadual de Maringá, 2009.

GAYLARDE, C.C.; BELLINASO, M.L.; MANFIO, G.P. Biorremediação: aspectos biológicos e técnicos da biorremediação de xenobióticos. **Biociência & Desenvolvimento**, n. 34, 2005.

GOUVEA, B. S.; RIBEIRO V. A. S.; JABUR, A. S. TESSAR, R. K. Análise da perda de resistência provocada pelos processos de estonagem em peças confeccionadas em denim. **Química Têxtil**, São Paulo, 2018.

GUARATINI, C. C. I. e ZANONI, M. V. B. Corantes Têxteis. **Química Nova**, São Paulo, v. 23, 2000.

GUPTA, V. K.; JAIN, R.; NAYAK A.; AGARWAL, S.; SHIVASTAVA, M. Removal of the hazardous dye—Tartrazine by photodegradation on titanium dioxide surface. *Mater. Sci. Eng.*, C 2011.

HASSEL, A. J.; DOZ, P. NITSCHKE, I.; RAMMELSBERG, P. Comparing L*a*b* color coordinates for natural teeth shades and corresponding shade tabs using a spectrophotometer. **The International Journal of Prosthodontics**, [Lombard, Ill], v. 22, no. 1, p. 72-74, 2009.

HERRMANN, J. M. Fundamentals and misconceptions in photocatalysis. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, 2010.

JOHNSTON WM, KAO E.C. Assessment of appearance match by visual observation and clinical colorimetry. **J Dent Res**. 1989.

KADOLPH, S. J., LANGFORD, A. L. **Textiles**. 8^a Edition. Saddle River, New Jersey: Prentice-Hall, 1998.

LEITE, B. Z.; PAWLOWSKY, U. Alternativas de minimização de resíduos em uma indústria de alimentos da região metropolitana de Curitiba. **Eng. Sanit. Ambient.**, Curitiba. v.10, n. 2, p. 96 -105, 2005.

LOPES, C. S. D. Análise ambiental da fase de acabamento do jeans. **Interfacehs**, Senac, São Paulo. v. 6, n. 3, jan., 2011.

LUIZ, S.; VALENTIM, A. F. **Lavanderia em jeans e a sustentabilidade em Moda: Comparativo entre processos tradicionais e ecológicos**. Monografia. Curso Superior de Tecnologia em Design de Moda, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, 2019.

MENDES, F. D.; FUSCO, J. P. A. Postergação como estratégia competitiva no segmento jeanswear da manufatura do vestuário de moda - MVM. *In: XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*. 2008, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro, 2008.

MIKLOS, D. B.; REMY, C.; JEKEL, M.; LINDEN, K. G.; DREWES, J. E.; HUBNER, U. Evaluation of advanced oxidation processes for water and wastewater treatment e A critical review. **Water Research**, Germany, v. 139, p.118-131, 2018.

MORAVIA, W. G.; LANGE, L. C.; AMARAL, M. C. S. Avaliação de processo oxidativo avançado pelo reagente de Fenton em condições otimizadas no tratamento de lixiviado de aterro sanitário com ênfase em parâmetros coletivos e caracterização do lodo gerado. **Química Nova**, São Paulo, v. 34, n. 8, jun. 2011.

MORITA, A. M.; MOORE, C. C. S.; KULAY, L. A.; RAVAGNANI, M. A. S. S. Avaliação do ciclo de vida da produção de calça jeans. *In: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION*, 6., 2017. São Paulo. **Anais**. São Paulo, 2017.

NOGUEIRA, R. F. P.; JARDIM, W. F. **A fotocatalise heterogênea e sua aplicação ambiental**. Tese (Doutorado) - Curso de Instituto de Química, Unicamp, Campinas, 1997.

OLIVEIRA, G. J. Jeans, a alquimia da moda. **Naípe Design**, 2008.

PAIVA, R. S. A. **Modelo para observação das etapas produtivas em empresas de confecção**. Curso de Moda, Cultura de Moda e Arte, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2010.

PAUL, R. **Denim and jeans: an overview**. Denim manufacture, Finishing and Applications. The Textile Institute. Woodhead Publishing. Elsevier. n.164. 2015.

PERALTA-ZAMORA, P; MORAES, S.G.; PELEGRINI, R.; FREIRE Jr., M.; REYES, J.; MANSILLA, H; DURÁN, N. Evaluation of ZnO, TiO₂ and supported ZnO on the photoassisted remediation of black liquor, cellulose and textile mill effluents. **Chemosphere**, v. 36, n. 9., 1998.

PEREIRA, G. S. **Introdução à tecnologia têxtil**. Araranguá: CEFET-SC, 2008.

PIGNATELLO, J. J.; OLIVEROS, S. E.; MACKAY, A. Advanced oxidation processes of organic contaminant destruction based of the Fenton reaction and related chemistry: Critical Reviews. **Environmental Science and Technology**, v. 36, 2006.

RIBEIRO, V. A. S. **Tratamento de Efluente de Lavanderia Industrial de Jeans por Fotocatalise Heterogênea Aplicando Catalisadores em Suspensão e Imobilizado**. 2015. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2015.

RIBEIRO, V. A. S.; FERARI, A. M.; TAVARES, C. R. G. Fotocatalise aplicada ao tratamento de efluentes de lavanderia de jeans: comparação entre TiO₂ e ZnO na eficiência de remoção de cor. **Brazilian Journals of Business**, Curitiba 2020.

RIBEIRO, V. A. S.; VOLPE, A. L. S.; TAVARES, C. R. G. Fotodegradação de efluentes têxteis catalisada por ZnO e classificação do resíduo sólido gerado. *In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIAS PARA O MEIO AMBIENTE*, 3., 2012, Bento Gonçalves. **Anais**. Bento Gonçalves, 2012.

RIZZO, L.J.K.; BELGIORNO, V.; ANDERSON, M.A. Removal of methylene blue in a photocatalytic reactor using polymethylmethacrylate supported TiO₂ nanofilm. **Desalination**, v. 211, 2007.

RODRIGUES, M. I; LEMMA, A. F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos**. 3ª edição – Campinas, SP: casa do espirito amigo fraternidade fé e amor, 2014.

- SAGGIORO, E.; PAVESI, T.; FERREIRA, L. F. V.; MOREIRA, J.; OLIVEIRA, A. Fotocatálise solar na remediação de corantes indigoides usados no tingimento de fios de algodão. *In*: III SEMINÁRIO DE I&DT, 2012, Porto Alegre. **Anais**. Porto Alegre, 2012.
- SALEM, V.. **Tingimento têxtil: fibras, conceitos e tecnologias**. São Paulo: Blucher, 2010.
- SALES, A.. **Calça Jeans: Uma Análise da Modelagem no Processo de Produção Industrial**. Curso de Gestão Empresarial, Faculdade Boa Viagem – FBV, Recife, 2003.
- SILVA, V. F. **Tratamento fotocatalítico de efluente têxtil empregando TiO₂ em pó e suportado**. Tese (Doutorado). Curso de Química. Universidade Federal Rural de Pernambuco, UFPE, 2011.
- SVENDSEN, L. **Moda: uma filosofia**. Rio de Janeiro: Zahar, 2004. 224 p. Tradução de: Maria Luiza X. de A. Borges.
- TEIXEIRA, C.P.E.; JARDIM, W.F. Caderno Temático volume 03 – **Processos oxidativos avançados – Conceitos teóricos**. Universidade Estadual de Campinas; Unicamp, Instituto de Química; Laboratório de Química Ambiental, 2004.
- UNESCO. **United Nations Educational Scientific and Cultural Organization. The United Nations world water development report, 2017: Wastewater: an untapped resource**, 2017.
- VAUTIER M, GUILLARD C, HERRMANN J. **Photocatalytic degradation of dyes in water: Case Study of Indigo and of Indigo Carmine**. **Catal**, 2001.
- VONCINA, D. B.; MAJCEN-LE-MARECHAL, A. Reactive Dye Decolorization Using Combined Ultrasound/H₂O₂. **Dyes and Pigments**, v. 59, n. 2, p.173-179, 2003.
- WOLLNER, H. J., KUMIN, V.M., & KAHN, P. A. Clarification by flotation and re-use of laundry wastewater. **Sewage and Industrial Wastes**, v. 26, n. 4, p. 509-519, Nova York, 1954.
- ZIOLLI, R. L.; JARDIM, W. F. Mecanismo de fotodegradação de compostos orgânicos catalisada por TiO₂. **Química Nova**, V. 21, n.3., 1998.