

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS BLUMENAU
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA TÊXTIL
CURSO ENGENHARIA TÊXTIL

Carolline Schreiber

Alvejamento de fibras de algodão por meio de técnicas de eletrogeração de oxidantes

BLUMENAU

2019

Carolline Schreiber

Alvejamento de fibras de algodão por meio de técnicas de eletrogeração de oxidantes

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Departamento de Engenharia Têxtil Campus Blumenau da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do Título de Bacharelado em Engenharia Têxtil
Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Cátia Rosana Lange de Aguiar
Coorientadora: Prof^ª. Dr^ª. Patrícia B. Brondani

Blumenau

2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Schreiber, Caroline

Alvejamento de fibras de algodão por meio de técnicas
de eletrogeração de oxidantes / Caroline Schreiber ;
orientador, Cátia Rosana Lange de Aguiar, coorientador,
Patrícia Bulegon Brondani, 2019.

67 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau,
Graduação em Engenharia Têxtil, Blumenau, 2019.

Inclui referências.

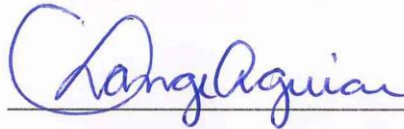
1. Engenharia Têxtil. 2. Eletroquímica. 3. Algodão. 4.
Hipoclorito. 5. Eletrogeração. I. Rosana Lange de Aguiar,
Cátia . II. Bulegon Brondani, Patrícia. III. Universidade
Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Têxtil.
IV. Título.

Carolline Schreiber

Alvejamento de fibras de algodão por meio de técnicas de eletrogeração de oxidantes

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Têxtil, e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Têxtil.

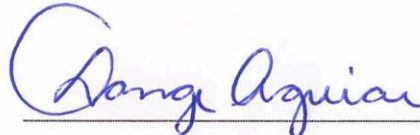
Blumenau, 5 de dezembro de 2019.



Prof^a. Catia Rosana Lange de Aguiar, Dr^a.

Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:



Prof^a. Catia Rosana Lange de Aguiar, Dr^a.

Orientadora

Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Eduardo Zapp, Dr.

UFSC - CEE



Prof. Miguel Angelo Granato, Dr.

UFSC - DET

Este trabalho é dedicado à minha família e amigos que sempre me apoiaram e nunca mediram esforços para realizar os meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Ao corpo docente de Engenharia Têxtil que muito me ensinou sobre profissionalismo, e principalmente, sobre a importância do relacionamento humano dentro da profissão.

À UFSC Blumenau, que além de possibilitar a realização prática deste trabalho, ainda me proporcionou a obtenção do amadurecimento necessário para a vida adulta.

Gostaria de agradecer também a cada pessoa que de alguma forma me auxiliou nessa caminhada, principalmente a professora Catia Rosana Lange de Aguiar, Eduardo Zapp e colegas do laboratório que não mediram esforços em nenhum momento para que este trabalho fosse concluído.

Um agradecimento muito especial à minha coorientadora deste trabalho, orientadora de pesquisa científica e muitas vezes amiga, Prof^a Patrícia Brondani. Obrigada por todo o seu esforço, dedicação e paciência nesses anos de trabalho em conjunto, é impossível falar da minha trajetória acadêmica sem lembrar de você.

Agradecimento também aos meus colegas e amigos que tornaram essa jornada muito mais leve e gratificante aturando todos os surtos durante os momentos mais críticos.

À minha família, o maior agradecimento possível. O apoio da base sempre foi fundamental para a minha evolução.

“No fim das contas, são as pessoas que fazem a diferença.”
(Bernardinho, 2011)

RESUMO

Com grande representatividade mundial, a indústria têxtil vive em constante busca de aprimoramento com o intuito de amenizar os prejuízos ambientais associados aos seus processos. No beneficiamento – etapa têxtil responsável pelo maior consumo de água – destaca-se o processo de alvejamento, o qual é responsável por branquear os fios e tecidos têxteis retirando suas sujidades naturais e/ou provenientes do maquinário. A técnica eletroquímica, caracterizada por gerar *in situ* o agente oxidante que promove o branqueamento é uma alternativa promissora para a etapa de beneficiamento do setor. Neste processo são utilizados diferentes eletrodos que promovem, por meio da solução eletrolítica, transferência de elétrons entre a superfície do eletrodo e as substâncias da solução. Neste trabalho foi analisada a influência de vários eletrólitos e eletrodos, eletrogerando compostos orgânicos que possibilitam o alvejamento de tecidos de algodão. Análises dos processos de eletrogeração em presença de peróxido de hidrogênio forneceram brancura de Berger similar aos processos de pré-alvejamento obtendo em 1 hora valores de 40 e 41 graus Berger em pH's 9,3 e 10, respectivamente. Processos de oxidação partindo de solução eletrolítica de cloreto de sódio e cloreto de potássio, gerando o correspondente hipoclorito *in situ*, forneceram grau de branco muito similar ao obtido no alvejamento convencional, que utiliza adição inicial de hipoclorito de sódio. Com somente $\frac{3}{4}$ do tempo e eletrogerando menores quantidades de agente oxidante, o processo eletroquímico se mostrou eficiente comparativamente ao processo usual. A adição de produtos auxiliares como sequestrantes de cálcio e magnésio ou ferro bem como detergente, aumentaram consideravelmente a eficiência do processo. Quando variada a concentração de eletrólitos na eletrogeração de hipoclorito, resultados utilizando cloreto de potássio foram mais afetados, obtendo-se em reações de 15 minutos, grau de branco igual a 45 e 54 para 30 g/L e 40 g/L, respectivamente. Os melhores resultados foram obtidos gerando o hipoclorito *in situ* a partir de cloreto sódio, resultando em um grau de branco de 66 e uma hidrofiliidade de 25 segundos. Os dados obtidos comprovam a eficiência do processo alternativo de eletrogeração, principalmente de oxidação de compostos contendo íons cloreto, possibilitando assim, menor consumo de reagentes perigosos, energia, água e tempo.

Palavras-chave: Alvejamento. Eletroquímica. Algodão. Hipoclorito. Eletrogeração. Agente oxidante.

ABSTRACT

With great worldwide representation, the textile industry is constantly seeking to improve its processes in order to alleviate the associated environmental damage. In beneficiation - textile stage responsible for the highest water consumption - stands out the bleaching process, which is responsible for bleaching the threads and textile fabrics removing their natural dirt and/or from the machinery. The electrochemical technique, characterized by generating *in situ* the oxidizing agent that promotes bleaching is a promising alternative for the beneficiation stage of the sector. In this process different electrodes are used to promote, through the electrolyte solution, electron transfer between the electrode surface and the solution substances. In this work were analyzed the influence of various electrolytes and electrodes electrogenerating organic compounds that enable the bleaching of cotton fabrics. Analyzes in the presence of hydrogen peroxide processes provided Berger whiteness similar to the pre-bleaching processes obtaining 1 hour values of 40 and 41 degrees Berger at pH 9,3 and 10, respectively. Oxidation processes starting from sodium chloride and potassium chloride electrolyte solution, generating the corresponding hypochlorite *in situ*, provided a degree of white very similar to that obtained in conventional bleaching, which used the initial addition of sodium hypochlorite. With only $\frac{3}{4}$ of time and electrogenerating smaller amounts of oxidizing agent, the electrochemical process was efficient compared to the usual process. The addition of auxiliary products such as calcium and magnesium or iron sequestrant as well as detergent considerably increased the efficiency of the process. When the electrolyte concentration in the hypochlorite electrogeneration was varied, results using potassium chloride were more affected, obtaining in 15 minutes reactions, white degrees of 45 and 54 for 30 g/L and 40 g/L, respectively. The best results were obtained with generating hypochlorite *in situ* in the presence from sodium chloride, resulting in a white degree of 66 and a hydrophilicity of 25 seconds. The obtained data prove the efficiency of the alternative process of electrogeneration, mainly of oxidation of compounds containing chloride ions, thus allowing lower consumption of hazardous reagents, energy, water and time.

Keywords: Bleaching. Electrochemical. Cotton. Hypochlorite. Electrogeneration. Oxidizing agent.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura química da celulose	20
Figura 2 – Regiões cristalinas e amorfas em microfibras de celulose.....	20
Figura 3 - Representação esquemática de uma célula eletroquímica com três eletrodos.....	25
Figura 4 - Processo de alvejamento convencional com peróxido de hidrogênio	34
Figura 5 - Processo de alvejamento convencional com hipoclorito de sódio.....	35
Figura 6 - Grau de Branco obtido variando-se os eletrodos de trabalho na presença de 6 g/L de <i>H2O2</i> , pH 8 e tempo reacional de 60 minutos	43
Figura 7 - Análise qualitativa dos resultados obtidos via método convencional e eletroquímico na presença de peróxido de hidrogênio	46
Figura 8 – Grau de branco obtido via eletrogeração de íons cloreto partindo de diferentes concentrações de eletrólito característico em tempo reacional de 15 minutos.....	49
Figura 9 – Grau de branco obtido via eletrogeração de íons cloreto em diferentes tempos reacionais na presença de 30 g/L de eletrólito característico	50
Figura 10 - Análise qualitativa dos resultados obtidos via método convencional na presença de hipoclorito de sódio e eletroquímico eletrogerando íons cloreto	51
Figura 11 - Análise visual comparativa entre tecido cru (1), tecido alvejado convencionalmente com hipoclorito de sódio (2), alvejado eletroquimicamente em presença de <i>H2O2</i> (3) e em presença de íons cloreto (4).....	56

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Reagentes utilizados.....	31
--------------------------------------	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Maiores produtores e exportadores de algodão em 2017	19
Tabela 2 – Composição da solução de alvejamento convencional com peróxido de hidrogênio	34
Tabela 3 - Composição da solução de alvejamento convencional com hipoclorito de sódio ..	35
Tabela 4 – Dimensões dos eletrodos utilizados nas células eletrolíticas.....	37
Tabela 5 - Número de fileiras e colunas em 1 centímetro dos tecidos de malha.....	41
Tabela 6 - Massa dos tecidos de malha em amostras de 10x10 cm.....	41
Tabela 7 – Médias do Grau de Branco obtido via alvejamentos convencionais	42
Tabela 8 – Grau de Branco obtido com a variação da concentração de H ₂ O ₂ na presença dos eletrodos de Pt ou Sn/Pb, 3 g/L de NaOH e tempo reacional de 15 minutos	44
Tabela 9 - Grau de Branco obtido com a variação da concentração de H ₂ O ₂ na presença do eletrodo de Pt, 30 g/L de NaOH e tempo reacional de 15 minutos	45
Tabela 10 – Grau de Branco obtido com a variação de pH na presença do eletrodo de Pt, 3 g/L de H ₂ O ₂ e tempo reacional de 60 minutos	45
Tabela 11 - Grau de branco obtido via eletrogeração de hipoclorito partindo de diferentes eletrólitos na presença do eletrodo de Pt, 30 g/L de eletrólito característico e tempo reacional de 15 minutos	47
Tabela 12 - Grau de branco obtido via eletrogeração de hipoclorito em diferentes concentrações de eletrólito caracterísitco na presença do eletrodo de Pt, pH 10 e tempo reacional de 15 minutos	48
Tabela 13 - Grau de branco obtido via eletrogeração de hipoclorito em diferentes tempos reacionais na presença do eletrodo de Pt, 30 g/L de eletrólito característico, pH 10 e tempo reacional de 15 minutos.....	50
Tabela 14 – Hidrofilidade dos tecidos de malha antes e depois do alvejamento convencional	53
Tabela 15 – Hidrofilidade dos tecidos de malha após tratamento eletroquímico envolvendo eletrogeração de íons cloreto	53
Tabela 16 - Análise comparativa entre processo convencional utilizando hipoclorito de sódio e processo eletroquímico alternativo eletrogerando íons cloreto	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIT	Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AMPASUL	Associação Sul Mato-Grossense dos produtores de algodão
ANEA	Associação Nacional dos Exportadores de Algodão
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
FIESC	Federação das Indústria do Estado de Santa Catarina
POAs	Processos Oxidativos Avançados
pH	Potencial Hidrogeniônico
°Berger	Índice de brancura
SI	Sistema Internacional de Unidades

LISTA DE SÍMBOLOS

L	Litro
g	Gramma
kg	Quilograma
V	Volt
rpm	Rotações por minutos
cm	Centímetro
mm	Milímetro
mL	Mililitros
Pt	Platina
Sn	Estanho
Pb	Chumbo
Al	Alumínio
Aço Inox	Aço Inoxidável
C	Carbono
Fe	Ferro
Ag	Prata
AgCl	Cloreto de Prata
Ca	Cálcio
Mg	Magnésio
R:B	Relação de banho
O_2	Oxigênio
O_3	Ozônio
HO^{\cdot}	Radical hidroxil
O	Oxigênio atômico
Cl	Cloro
Cl_2	Gás Cloro
H	Hidrogênio
H_2	Gás Hidrogênio
Na	Sódio
KI	Iodeto de Potássio
H_2O	Água

H_2O_2	Peróxido de Hidrogênio
$NaClO$	Hipoclorito de Sódio
$HClO$	Ácido Hipocloroso
ClO	Hipoclorito
$NaCl$	Cloreto de Sódio
$NaOH$	Hidróxido de Sódio
Na_2SO_4	Sulfato de Sódio
KH_2PO_4	Fosfato monopotássico
NaH_2PO_4	Fosfato monossódico
Na_2HPO_4	Fosfato dissódico
CH_3COOH	Ácido Acético
$NaHCO_3$	Bicarbonato de Sódio
$Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$	Carbonato de Sódio Decahidratado
$NaHSO_3$	Bissulfito de Sódio
$NaNO_3$	Nitrato de Sódio
$Na_2S_2O_3$	Tiosulfato de Sódio
KIO_3	Iodato de Potássio
HCl	Ácido Clorídrico
KCl	Cloreto de potássio

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	16
2.1	OBJETIVO GERAL.....	16
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
3.1	INDÚSTRIA TÊXTIL	17
3.1.1	Impactos Ambientais.....	18
3.2	FIBRAS DE ALGODÃO	19
3.3	OBTENÇÃO DO TECIDO DE MALHA.....	21
3.4	BENEFICIAMENTO DE SUBSTRATOS TÊXTEIS.....	21
3.4.1	Alvejamento de substratos têxteis.....	22
3.4.2	Auxiliares de alvejamento.....	23
3.5	ELETROQUÍMICA	24
3.6	ESTADO DA ARTE	28
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
4.1	MATERIAIS	30
4.1.1	Superfície têxtil.....	30
4.1.2	Reagentes.....	30
4.2	MÉTODOS.....	32
4.2.1	Tampões	32
4.2.1.1	Tampão fosfato.....	32
4.2.1.2	Tampão Bicarbonato	32
4.2.2	Caracterização do substrato têxtil	32
4.2.2.1	Densidade do tecido de malha.....	33
4.2.2.2	Gramatura do tecido de malha.....	33
4.2.3	Processos de Alvejamento Convencional	33

4.2.3.1	Alvejamento convencional com peróxido de hidrogênio.....	34
4.2.3.2	Alvejamento convencional com hipoclorito de sódio.....	35
4.2.4	Processo de Alvejamento Eletroquímico.....	36
4.2.4.1	Sistemas alvejantes de Oxidação da água.....	37
4.2.4.2	Sistemas alvejantes de Oxidação de íons cloreto.....	38
4.2.4.2.1	<i>Determinação de Cloro Ativo.....</i>	38
4.2.5	Análises de Grau de Branco.....	39
4.2.6	Hidrofilidade.....	39
4.2.7	Perda de massa.....	40
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	40
5.1	CARACTERIZAÇÃO DO SUBSTRATO TÊXTIL.....	40
5.1.1	Densidade do tecido de malha.....	40
5.1.2	Gramatura do tecido de malha.....	41
5.2	ALVEJAMENTO CONVENCIONAL.....	41
5.3	ALVEJAMENTO ELETROQUÍMICO.....	42
5.3.1	Alvejamento eletroquímico via oxidação da água.....	42
5.3.2	Alvejamento eletroquímico via oxidação de íons cloreto.....	46
5.3.2.1	Determinação da Quantidade de Cloro Ativo.....	51
5.3.3	Hidrofilidade.....	52
5.3.4	Perda de massa.....	54
5.4	ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE ALVEJAMENTO CONVENCIONAL E ELETROQUÍMICO.....	54
6	CONCLUSÃO.....	56
6.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	57
	REFERÊNCIAS.....	59

1 INTRODUÇÃO

Com ampla representatividade no setor têxtil, o Brasil é o quarto maior produtor de tecidos de malha no mundo, que acarreta a autossuficiência na produção de algodão, por exemplo. No país, destaca-se o Estado de Santa Catarina, o qual, segundo dados da ABIT (Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção) de 2015, encontra-se na segunda posição do ranking, respondendo por 17,4% do faturamento nacional (ABIT, 2015).

Atualmente, o maior consumo de substrato têxtil é de origem natural, mais especificamente o algodão, em seguida, destaca-se a utilização das fibras artificiais e por fim as sintéticas. As fibras naturais são extraídas diretamente da natureza e por isso fornecem materiais com propriedades de alto conforto e flexibilidade. A origem natural também acarreta em características de coloração escurecidas provenientes da plantação, como tons amarelados ou marrons (FEBRATEX GROUP, 2019). Além disso, durante os processos de transformação do algodão em tecido ou malha, as peças dos maquinários acabam por afetar ainda mais a coloração da fibra. Tais fatores fazem com que o material formado via tecelagem ou malharia precise ser branqueado para posterior comercialização (ABDEL-HALIM, 2012). Esse processo de alvejamento ocorre, geralmente, através de processos químicos de oxidação ou redução. Os métodos comumente utilizados são prejudiciais ao meio ambiente e/ou à estrutura do próprio substrato, pois os branqueadores mais empregados são à base de cloro, peróxido de hidrogênio, ozônio e perácidos (HAGE e LIENKE, 2006).

No que tange a liberação dos resíduos gerados durante o processo de alvejamento e outros processos industriais, a legislação está se tornando cada vez mais restrita, com o objetivo de preservar a saúde humana e do meio ambiente. Atrelando a preocupação ambiental com a diversidade e a complexidade dos compostos orgânicos presentes nos efluentes têxteis, sendo estes em sua maioria prejudiciais ao ambiente, o tratamento dos resíduos provenientes de toda a cadeia têm sido motivação para inúmeros estudos (LEITE et al., 2015; ROCHA, 2011; STUCKI et al., 1991). Uma das alternativas conhecidas para promover o branqueamento de tecidos sem gerar grandes prejuízos ambientais é a eletroquímica. A técnica consiste na geração *in situ* do agente oxidante que irá promover o alvejamento do substrato, podendo este ainda ser convertido em seu estado inicial novamente, evitando assim, o despejo do efluente contendo excesso dos reagentes. O processo de eletrogeração possui muitas vantagens quando comparado

ao processo convencional no que se refere a tempo reacional, temperatura de trabalho, custos de implementação e danos ambientais (VITERO et al., 2017).

Trabalhos envolvendo o emprego da técnica eletroquímica como alternativa aos processos convencionais de alvejamento são escassos na literatura. Aliando este fato com o desejo de diminuir os danos ambientais inerentes ao processo, o estudo dessa alternativa é a principal motivação para o desenvolvimento deste trabalho.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Propor um processo alternativo de alvejamento de tecidos de malha de algodão via aplicação de método eletroquímico, gerando *in situ* o agente oxidante. Com isso, objetiva-se realização do processo em temperaturas mais baixas e/ou em menor tempo que o usual além de eliminar o uso de alguns reagentes químicos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a. Analisar a viabilidade da eletrogeração de diferentes agentes oxidantes;
- b. Identificar e otimizar a melhor classe de eletrólitos bem como sua concentração no processo de alvejamento de algodão;
- c. Analisar o efeito do pH em presença de diferentes eletrodos de trabalho;
- d. Avaliar o efeito de íons hipoclorito no alvejamento do tecido de malha;
- e. Avaliar o grau de branco estabelecendo o melhor sistema para o processo de alvejamento via eletroquímica.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo será apresentada a fundamentação teórica sobre os processos convencionais de alvejamento bem como processos eletroquímicos empregados para essa mesma finalidade.

3.1 INDÚSTRIA TÊXTIL

Introduzido no Brasil desde 1850, o setor têxtil teve grande importância no desenvolvimento industrial ganhando assim, grande representatividade, mesmo à nível mundial. O setor possui economia baseada em fatos históricos, políticos e econômicos que são caracterizados por influenciar diretamente sua evolução (MANENTI, 2011; ROCHA, 2011). Com grande crescimento desde o surgimento, a cadeia têxtil nacional possui números significativos, como mostram os dados da ABIT de 2017, no qual apresentam a indústria têxtil nacional como sendo a quinta maior do mundo e a quarta maior em confecção. Em níveis nacionais, o setor ocupa a segunda colocação no *ranking* como gerador de empregos e empregador na indústria de transformação (ABIT, 2017).

No Brasil, destaca-se o estado de Santa Catarina como forte produtor de têxteis, ficando atrás apenas do Estado de São Paulo (ABIT, 2015). Sendo responsável por 17,4% do total do faturamento nacional, segundo Claudio Roberto Grando, presidente da Câmara de Desenvolvimento da Indústria da Moda da FIESC (Federação das Indústria do Estado de Santa Catarina), Santa Catarina conta atualmente com mais de 170 mil empregos formais e 200 mil indiretos associados à cadeia têxtil (LEONORA, 2019). Apesar da grande representatividade no setor, a produção do segmento têxtil nacional sofreu uma queda de 3,4% de Janeiro à Março de 2019, e uma queda de 6,8% quando comparado ao mesmo período do ano anterior (ABIT, 2019). De acordo com Claudio Grando, as razões que levam ao decréscimo da produção, principalmente em Santa Catarina, estão atreladas ao fato de o estado encontrar-se em desvantagem na competição com países como China, Bangladesh e Paquistão pelo excesso de tributações (LEONORA, 2019).

3.1.1 Impactos Ambientais

A indústria têxtil é considerada a cadeia de produção mais complexa do ocidente (ABIT, 2017), além de possuir uma grande representatividade mundial em níveis de produção. Justamente por conta desses dados, o setor possui uma grande preocupação em conservar e/ou reutilizar os recursos empregados já que o conjunto de etapas que caracterizam a indústria são potencialmente poluentes. Nestes processos destacam-se a alta geração de efluentes líquidos, associados à utilização de grandes volumes de água e produtos químicos (CERQUEIRA; RUSSO; MARQUES, 2009; MORAIS, 2016). A indústria têxtil utiliza aproximadamente 50 litros (L) de água para cada quilograma (kg) de tecido beneficiado, sendo esta quantidade empregada mais comumente nos processos de beneficiamento (CARDOSO, 2010). Além do grande consumo hídrico, se faz necessário utilizar produtos auxiliares que tornam eficientes as etapas de fabricação dos produtos têxteis, sendo estes principalmente aplicados nos processos de acabamento (ALCÂNTARA e DALTIM, 1996; LEAL, 2014).

A grande diversidade e complexidade dos efluentes têxteis, aliado às imposições da legislação que exigem tratamentos cada vez mais eficientes, têm levado ao desenvolvimento de novas tecnologias. Os processos alternativos buscam otimizar as formas de tratamento atuais, tornando-as mais eficazes na minimização dos danos ambientais causados pela presença de contaminantes (LEAL, 2014). Apesar de a legislação garantir através de órgãos como CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), que as necessidades ambientais sejam atendidas, entende-se a necessidade de revisar processos produtivos com o intuito de aprimorá-los, tornando-os assim menos nocivos ao meio ambiente e aos seres humanos (MANENTI, 2011). Com base nisso, tratamentos tecnológicos vêm ganhando cada vez mais espaço nos estudos do setor, como é o caso dos Processos Oxidativos Avançados (POAs), que baseiam-se na utilização de agentes bastante reativos. A aplicação dos POAs visam solucionar problemas que os processos atualmente empregados não são capazes, como a alta geração de lodo no tratamento de efluentes, por exemplo (ROCHA, 2011). Em alguns processos oxidativos, como os que utilizam semicondutores sólidos que absorvem energia e promovem a transferência de elétrons, há geração do radical hidroxila. Este radical é conhecido por possuir alto potencial de oxidação sendo capaz de reagir com quase todas as classes de compostos orgânicos e podendo portanto, ser aplicado em processos da indústria (MANENTI, 2011).

3.2 FIBRAS DE ALGODÃO

De acordo com a AMPASUL (Associação Sul Mato-Grossense dos produtores de algodão), a cultura do algodão no Brasil teve início no século XVIII, iniciando-se no estado do Maranhão. Anos depois, a chegada de imigrantes norte-americanos possibilitou que o estado de São Paulo se tornasse forte centro produtor e, logo a produção algodoeira foi descentralizada para outros estados do país (AMPASUL, 2017).

Durante os séculos XVIII e XIX, o Brasil foi um dos maiores produtores e exportadores da fibra de algodão, mas, perdeu certo espaço mundial quando a cultura do café começou a se estabelecer no território. Dados de 2017, referente à produção e exportação do algodão podem ser visualizados na Tabela 1 (AMPASUL, 2017).

Tabela 1 – Maiores produtores e exportadores de algodão em 2017

País	Produção (%)	Exportação (%)
Índia	25,0	12,0
China	20,0	-
Estados Unidos	17,0	37,0
Paquistão	7,5	-
Brasil	6,2	8,5
Outros	24,3	42,5

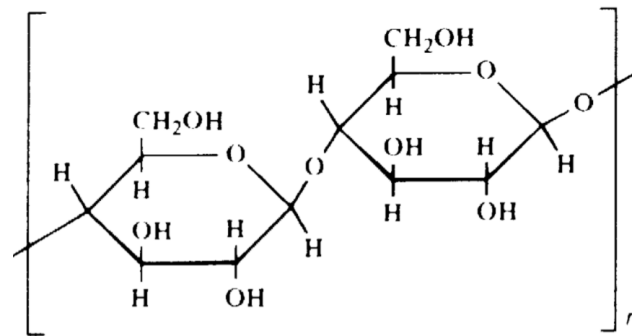
Fonte: AMPASUL (2017).

Sendo a fibra mais consumida no mundo e representando cerca de 60% de toda a produção mundial (ABIT, 2015), o algodão permite ao Brasil se posicionar como o 5º maior produtor e o 4º maior exportador dessa matéria-prima. Dados referente aos meses de Janeiro a Outubro de 2019 comprovam a representatividade do país em níveis de exportação – 1.039.391 toneladas –, principalmente para países como China, Indonésia e Bangladesh (ANEA, 2019).

Como os dados de produção sugerem, o algodão é ainda hoje uma das principais matérias-primas utilizadas no setor têxtil. Ele é uma fibra natural, de origem vegetal que pode ser cultivada em praticamente todos os continentes, o que facilita sua produção. Essa classe de fibra é retirada diretamente da natureza e por isto possui alta maciez, permitindo a produção de artigos têxteis com altos níveis de conforto ao usuário. Além disto, o baixo custo, a ótima solidez à lavagem e a durabilidade da fibra são alguns dos fatores que popularizaram o uso desta como matéria-prima têxtil (ALCÂNTARA e DALTIM, 1996).

O algodão é constituído aproximadamente por 90% de celulose sendo esta responsável por fornecer resistência às fibras por conta do alto grau de polimerização e orientação molecular. A Figura 1 representa parte da estrutura química da cadeia da celulose.

Figura 1 – Estrutura química da celulose

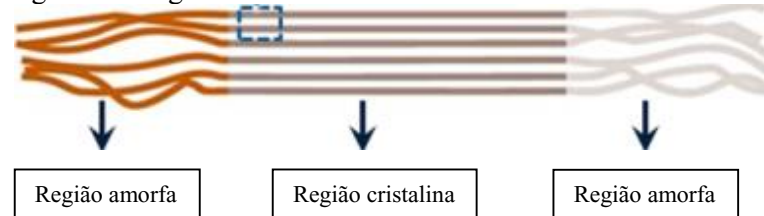


Fonte: CARVALHO, 2000.

O restante da composição química da fibra de algodão é composta por ceras, pigmentos naturais, gorduras, pectinas, sais minerais, etc. Além de componentes não celulósicos, as fibras em sua forma bruta contêm matéria corante de composição complexa que confere uma cor marrom e/ou amarelada (CARVALHO, 2000; VITERO et al., 2017). Deste modo, devido as características do algodão cru e/ou que este obtém durante os processos por conta do contato com o maquinário, existe a necessidade de realizar o beneficiamento com o intuito de branquear o material.

Considerando sua estrutura, o algodão possui regiões amorfas, as quais não possuem ordenamento de moléculas, e regiões cristalinas, que possuem certa organização paralela entre si, como pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 – Regiões cristalinas e amorfas em microfibras de celulose



Fonte: NERALLA, 2012.

As regiões amorfas são responsáveis por interagir mais facilmente com os aditivos têxteis já que não possuem ordenação e por isto facilitam a penetração dos reagentes na fibra. As regiões cristalinas, pelo contrário, dificultam a interação entre a fibra e os aditivos.

Pela ausência de hidrofiliidade uniforme, as fibras de algodão apresentam baixa afinidade por água e/ou soluções aquosas de ácidos e bases fazendo com que os processos aos quais é submetido, principalmente de limpeza, necessitem ser realizados em elevadas temperaturas. Por este fator, processos são aplicados na indústria para tornar a fibra mais hidrofílica e assim, melhorar suas propriedades de tingibilidade (ALCÂNTARA e DALTIM, 1996; VITERO et al., 2017).

3.3 OBTENÇÃO DO TECIDO DE MALHA

Para obtenção do tecido de malha a partir do algodão, é necessário que a fibra passe por algumas etapas dentro da cadeia têxtil. Para isso, a matéria-prima chega na indústria em fardos, os quais são abertos, desmanchados, limpos e as fibras desagregadas. Por conta das diferentes superfícies, são aplicados à fibra óleos lubrificantes que possibilitam a mistura de todo o material e dificultam à posterior separação destas. Em seguida, o material é passado pela máquina de carda onde é formada uma manta de fibra seguida da criação da fita de carda.

O processo de fiação é a próxima etapa, a qual é responsável por produzir fios, onde a boa resistência destes é obtida por meio de sucessivos processos de retorcimento e estiramento. Antes de seguir para a malharia, os fios provenientes da fiação são enrolados em cones, sendo comum que antes desse processo ocorra a aplicação dos óleos de conicalagem, os quais são responsáveis por diminuir o atrito entre a fibra e o maquinário. Todas as etapas citadas são responsáveis por conferir ao algodão coloração ainda mais escura que a natural já presente na fibra e deste modo, existe a necessidade de beneficiar o substrato têxtil (ALCÂNTARA e DALTIM, 1996).

3.4 BENEFICIAMENTO DE SUBSTRATOS TÊXTEIS

Para evitar efeitos indesejados no tecido acabado, advindos das substâncias não celulósicas do algodão e do maquinário, uma série de processos de preparação constituintes da etapa de beneficiamento, é aplicada aos fios ou tecidos. Com isso, beneficiamento pode ser definido como o conjunto de processos aplicados aos materiais têxteis objetivando transformá-los a partir do estado cru em artigos brancos tintos, estampados e acabados. Este processo é

então caracterizado por transformar o tecido quanto a sua aparência, hidrofiliidade e resistência (VITERO et al., 2017).

A etapa de beneficiamento pode ser dividida em primário, secundário e terciário. O beneficiamento primário consiste em preparar o material eliminando impurezas que podem afetar a qualidade final do tecido por meio de processos mecânicos, físicos, químicos, bioquímicos e físico-químicos como a chamuscagem, navalhagem, desengomagem, mercerização e purga. Dentre as etapas do beneficiamento primário, destacam-se ainda os processos que fornecem coloração mais branca ao material, como o pré-alveamento, alveamento ou branqueamento químico e/ou ótico. O tipo de processamento aplicado bem como as condições deste variam de acordo com a matéria-prima e as aplicações finais do tecido, mas o resultado final é similar. O beneficiamento secundário é a etapa caracterizada pelo tingimento e estamparia, o terciário é definido pelas operações de acabamento que fornecem propriedades desejadas pelos consumidores como brilho, melhoria de resistência, impermeabilização, boa solidez à cor, etc. (ALCÂNTARA e DALTIM, 1996).

3.4.1 Alveamento de substratos têxteis

É importante a realização do processo do alveamento de substratos têxteis antes da realização de tingimento ou estamparia quando se deseja obter tecidos de coloração branca, clara ou média, bem como cores mais intensas, porém limpas. Isso porque esse processo tem a finalidade de branquear o tecido via remoção das impurezas, como óleos ou graxas, resinas e substâncias proteicas das fibras (DAS et al., 2016).

O processo de alveamento do algodão comumente realizado na indústria é feito em meio alcalino e, este pode ocorrer por oxidação, redução ou ainda pela combinação destes. Apesar de existir a possibilidade de outras formas de aplicação, o processo oxidativo associado ao alveamento é preferível porque o grau de branco produzido por um agente redutor normalmente não possui alta solidez. Além disso, quando alveja-se fibras naturais, os resultados de rendimento bem como os custos associados aos processos oxidativos são mais vantajosos do ponto de vista industrial (CARVALHO, 2000; DAS et al., 2016; HAGE e LIENKE, 2006). O agente de alveamento empregado no processo é responsável por degradar o grupo de átomos caracterizado pela coloração do algodão bem como os pigmentos naturais deste. Como consequência, promove-se um tecido mais branco (HAGE e LIENKE, 2006).

Ainda de acordo com Hage e Lienke (2006), as substâncias químicas mais utilizadas para branquear materiais são peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e hipoclorito de sódio ($NaClO$), sendo o primeiro o mais utilizado à nível industrial. Em 2005, 60% de todo H_2O_2 consumido no mundo já era destinado à remoção de cromóforos indesejados, sendo esse montante aplicado em diferentes setores da indústria. Neste mesmo ano, cerca de 220.000 toneladas já eram destinadas ao branqueamento específico de materiais têxteis.

Quando realiza-se o processo de alvejamento na presença de H_2O_2 , é necessário um meio alcalino, altas temperaturas ($\sim 90^\circ C$), estabilizadores e altos tempos reacionais (1 hora) para promover um eficiente grau de branco. Este reagente, quando comparado ao $NaClO$, é caracterizado por prejudicar em menor grau à superfície da fibra já que não é a base de cloro e por isso não tende a atacar a celulose, degradando-a por oxidação (ABDEL-HALIM, 2012). Oxidantes à base de cloro, como o $NaClO$, resultam na formação de resíduos de cloro, os quais apresentam baixa biodegradabilidade e por isso são considerados altamente prejudiciais ao meio ambiente. Apesar disso, seu processamento ocorre de forma mais rápida quando comparado ao processo realizado na presença de H_2O_2 , além de não ter a necessidade de altas temperaturas. Os produtos à base de cloro também costumam ser mais baratos, porém, o perigo atrelado ao transporte, armazenamento e manuseio destes reagentes perigosos e instáveis, é outro fator preocupante (DAS et al., 2016; HAGE e LIENKE, 2006; VITERO et al., 2017).

Desse modo, devido a fatores como a necessidade de altas temperaturas, transporte de materiais perigosos, prejuízos à fibra, lançamento de efluentes altamente contaminados em corpos de rios e alto consumo de água e reagentes há grande motivação para realização de pesquisas relacionadas ao alvejamento no setor têxtil.

3.4.2 Auxiliares de alvejamento

Presentes em todos os processos realizados a úmido, os produtos auxiliares também conhecidos como aditivos, são responsáveis por auxiliar na eficiência dos processos da cadeia têxtil, principalmente no beneficiamento. Eles podem ser encontrados nos processos de preparação, engomagem, tingimento, alvejamento e acabamento, sendo necessário apresentarem algumas das seguintes características:

- a. Promover umectação rápida do tecido;
- b. Suportar altas concentrações de eletrólitos;
- c. Suportar certas variações de pH;
- d. Promover umectação homogênea do tecido;
- e. Proporcionar baixo nível de espuma durante agitação;
- f. Não interferir nos processos subsequentes da cadeia;
- g. Manter estáveis em solução os resíduos do processo;

Com base nas características destes materiais, há diferentes produtos que podem ser utilizados no setor têxtil, cada qual com seu objetivo. Dentre os principais, é possível destacar os sequestrantes, os quais interagem com os íons presentes no meio aquoso mantendo-os em solução e evitando assim, a formação de dureza que leva à precipitação de compostos; os retardantes, que controlam a taxa de determinadas reações fazendo com que o processo ocorra de forma mais homogênea e os auxiliares umectantes, que são responsáveis por acelerar a hidrofiliabilidade do tecido, facilitando o acesso entre o agente em solução e a fibra. Outros aditivos como ajustadores de pH, dispersantes e antiespumantes também podem ser encontrados nas etapas da cadeia (ALCÂNTARA e DALTIM, 1996; VITERO et al., 2017).

Nos processos convencionais de alvejamento, os produtos auxiliares mais encontrados são os dispersantes, os branqueadores óticos e os sequestrantes, podendo este último ter como objetivo principal sequestrar sais de Ferro (Fe) e/ou sais de Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg), dependendo do processo associado (SHORE; BALDWINSON, 2002).

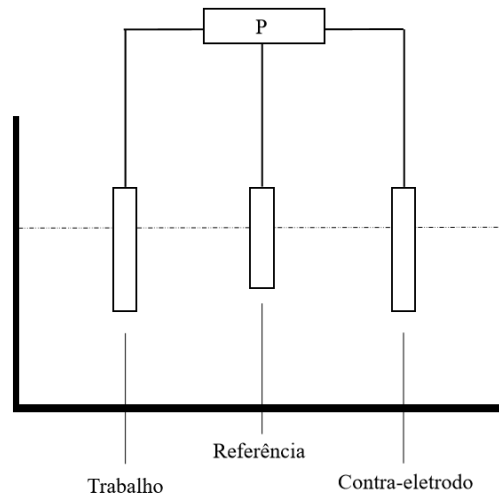
3.5 ELETROQUÍMICA

A técnica de eletrogeração consiste na aplicação de tensão entre dois eletrodos em uma célula eletroquímica de forma a criar corrente elétrica através de um condutor de íons que separa os eletrodos. Desse modo, há transferência de elétrons entre a superfície do eletrodo e as substâncias da solução. Para que isto ocorra é necessário que os dois eletrodos, sendo estes classificados em célula catódica e anódica, estejam imersos na mesma solução eletrolítica e conectados por um circuito externo (GUTIÉRREZ; CRESPI, 1999; TICIANELLI; GONZALEZ, 2013).

Um conjunto eletroquímico mínimo é composto por um par de eletrodos e pela solução eletrolítica que é responsável por promover e possibilitar o fluxo de elétrons. Há ainda a

possibilidade do acoplamento de um terceiro eletrodo, denominado eletrodo de referência, com o intuito de controlar a variação de potencial da solução. Esta segunda possibilidade de configuração pode ser visualizada na Figura 3.

Figura 3 - Representação esquemática de uma célula eletroquímica com três eletrodos

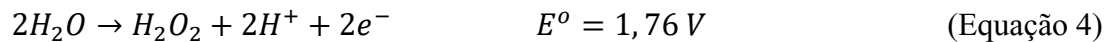
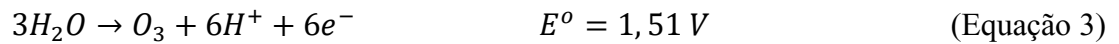
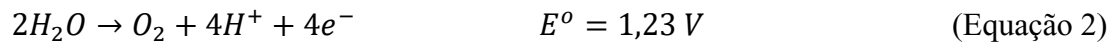
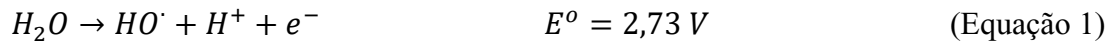


Fonte: Ticianelli e Gonzalez (2013).

A utilização de eletroquímica como um processo alternativo fornece uma combinação de características vantajosas para a indústria já que a técnica pode ser operada com baixo custo, em temperatura e pressão ambiente, com menor consumo de energia, num curto espaço de tempo e utilizando reagentes renováveis. Além de não gerar resíduo sólido, o processo pode ainda gerar espécies inorgânicas, orgânicas ou bioquímicas de carga neutra, positiva ou negativa caracterizando-se como versátil. Apesar disso, quando é aplicada técnica eletroquímica em níveis industriais, deve-se analisar a possibilidade de mais de um tipo de reação ocorrer ao mesmo tempo em regiões diferentes do reator (RAJESHWAR; IBANEZ, 1997; SALA; GUTIÉRREZ-BOUZÁN, 2012; VITERO et al., 2017).

A eletrogeração de substâncias nos sistemas eletroquímicos pode ocorrer de acordo com a quantidade de elétrons transferidos na solução eletrolítica. Desta forma, o processo de oxidação da água, por exemplo, pode formar radicais hidroxila ($HO\cdot$) (Equação 1), oxigênio (O_2) (Equação 2), ozônio (O_3) (Equação 3) ou ainda H_2O_2 (Equação 4) no meio reacional dependendo das condições associadas. É possível ainda que haja a formação dos oxidantes

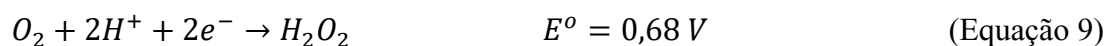
descritos de forma simultânea já que os HO^\cdot eletrogerados podem reagir entre si caracterizando alguma das outras reações descritas (MICHAUD et al., 2003; SIAHROSTAMI et al., 2017).



Quando formado HO^\cdot a partir da eletrólise, estes são adsorvidos nos locais ativos do eletrodo e são caracterizados por possuir alta eficiência na remoção de moléculas orgânicas, podendo assim, estar envolvidos na oxidação do eletrólito (E) característico (Equação 5); formação de H_2O_2 via reação dos HO^\cdot (Equação 6) e oxidação do oxigênio atômico (O^\cdot) formando O_3 (Equação 7) ou evoluindo ao O_2 (Equação 8) (GUTIÉRREZ; CRESPI, 1999; MICHAUD et al., 2003).

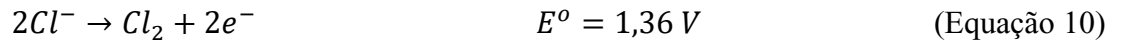


A combinação das reações descritas possibilita em alguns casos a redução do O_2 em H_2O_2 (Equação 9) ou ainda o processo reverso, no qual H_2O_2 pode ser oxidado levando a eletrogeração de O_2 . O processo de oxidação citado também pode ocorrer quando o H_2O_2 é adicionado diretamente na solução eletrolítica (MICHAUD et al., 2003; WANG; CHEN, 2013).



Quando na presença de íons cloreto, a eletroquímica ocorre de forma a gerar um conjunto de oxidantes contendo cloro (Cl) que são produzidos anodicamente pela oxidação dos próprios íons de cloreto, gerando assim, cloro ativo no meio. Essa reação inicia com a oxidação dos íons cloreto formando gás cloro (Cl_2) (Equação 10), sendo este, então difundido na solução e formando espécies como o ácido hipocloroso ($HClO$) e íons cloreto (Cl^-) (Equação 11) em meio ácido ou hipoclorito (ClO^-) e Cl^- (Equação 12) quando em meio alcalino (GUTIÉRREZ;

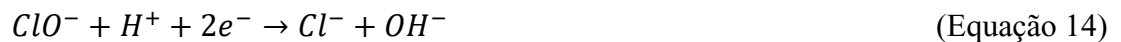
CRESPI, 1999; PANIZZA et al., 2007; SALA; GUTIÉRREZ-BOUZÁN, 2012; VITERO et al., 2017).



A Equação 13 descreve a conversão do *HClO* em *ClO⁻* após este reagir com os *HO[·]* do cátodo (VITERO et al., 2017).



Ao final do processo, é possível ainda realizar a redução dos íons *ClO⁻* (Equação 14) gerados tornando o efluente menos nocivo ao meio ambiente quando descartado (L. CZARNETZKI e L. J. J. JANSSEN, 1987).



Os desafios encontrados com relação a implementação efetiva de processos eletroquímicos como bons substituintes aos processos industriais estão associados diretamente à redução do consumo energético de maneira a diminuir seu custo operacional tornando-o assim, realmente competitivo. A diminuição do consumo energético é possível por meio do aumento do rendimento elétrico que como consequência diminui o potencial elétrico necessário a ser aplicado. O potencial elétrico por sua vez, depende principalmente da distância entre os eletrodos, e o rendimento pode ser melhorado utilizando-se eletrodos com maior área superficial, o que permite uma troca de elétrons mais eficiente (CERQUEIRA; RUSSO; MARQUES, 2009; FOCKEDEY; VAN LIERDE, 2002; ROCHA, 2011).

Em resumo, a atividade eletroquímica e a reatividade química dependem da força da interação entre o eletrodo e a solução (KAPALKA, 2008), portanto a escolha do material eletródico afeta diretamente a eficiência do processo. A maioria dos materiais utilizados como eletrodos são úteis apenas em certas faixas de potencial e/ou potencial Hidrogeniônico (pH),

portanto, na escolha do material deve-se levar em consideração aspectos como custo, composição da solução a ser tratada, estabilidade física e química do eletrodo, etc. Há inúmeros tipos de materiais que podem ser aplicados e a seleção é restritiva, de modo que não podem ser usados eletrodos que reagem espontaneamente com o meio reacional e/ou oxidem sob aplicação do potencial de trabalho (GUTIÉRREZ; CRESPI, 1999; PELEGRINO et al., 2002; RAJESHWAR; IBANEZ, 1997).

Dentre as diversas possibilidades de aplicação do método eletroquímico no setor têxtil, o mesmo pode ser empregado para auxiliar no processo de alvejamento com o intuito de obter eficiente grau de branco sem adição propriamente dita dos reagentes comumente utilizados.

3.6 ESTADO DA ARTE

Alguns estudos (MORAIS, 2016; ROCHA, 2011; SALA; GUTIÉRREZ-BOUZÁN, 2012; STUCKI et al., 1991) vêm sendo realizados utilizando o conceito da eletroquímica para tratar os problemas associados à indústria têxtil, apesar disto, poucas pesquisas se concentram na análise desta técnica como alternativa para o alvejamento de tecidos.

Chong e chu (1998 apud SALA; GUTIÉRREZ-BOUZÁN, 2012) obtiveram resultados semelhantes ao alvejamento convencional usando eletroquímica e gerando *in situ* o H_2O_2 a partir da eletrólise do O_2 na presença de cloreto de sódio ($NaCl$). O processo analisado combinou as etapas de limpeza e alvejamento de tecidos de algodão e os resultados mostraram que a produção de H_2O_2 e sua eficácia no processo combinado era altamente afetada pela tensão aplicada ao sistema.

Análises gerando O_2 em eletrodos de Platina (Pt) na presença de eletrodos de Ag/AgCl, realizadas por Kokot, Marahusin e Schweinsberg (1993), apresentaram resultados similares no que se refere à comparativa de orifícios causados ao tecido de algodão via técnica eletroquímica e convencional na presença de H_2O_2 . As reações rodaram por cerca de 60 minutos, o eletrólito de suporte utilizado era composto por hidróxido de sódio ($NaOH$) e sulfato de sódio (Na_2SO_4) e os dados obtidos mostram a semelhança entre os prejuízos causados à fibra pelos dois alvejamentos.

Das et al. (2016) variaram a diferença de potencial em eletrodos de placa de Carbono (C) no ânodo e eletrodos revestidos no cátodo para promover a ação oxidante através da eletrogeração do íon ClO^- partindo do $NaCl$. Neste estudo, resultados similares ao método

convencional em índices de brancura, brilho e amarelamento foram obtidos após imersão por 20 minutos do tecido em solução com cloro ativo já gerado.

Bechtold et al. (2005) obtiveram resultados satisfatórios no que se refere à geração *in situ* do íon ClO^- para alvejamento de denim. Utilizando soluções de $NaCl$ de 13,8 a 55,2 gramas/litro (g/L) e diferentes aplicações de correntes, soluções com concentração ativa de cloro de 0,10 - 0,12 molar (M) foram obtidas. A técnica eletroquímica realizada em acoplamento com máquina de lavar do tipo tambor comercial super problemas de reprodutibilidade insuficiente do alvejante, custos químicos e água desperdiçada. Portanto, partindo do estudo da eletrólise da água, os autores comprovam as vantagens de consistência bem como a diminuição do custo associado quando comparado ao processo convencional.

Vitero et al. (2017) também comprovaram a eficiência de análises eletroquímicas para o alvejamento de tecidos de algodão partindo de uma solução eletrolítica de $NaCl$. Os testes foram realizados por 2 horas variando a corrente de aplicação e a quantidade de agente umectante. Os autores obtiveram grau de branco superior em alguns testes quando comparado o processo eletroquímico ao convencional. Análises de resistência e morfologia da superfície não apresentaram variação perceptível nos tecidos de algodão submetidos à eletrólise mesmo após o banho de alvejamento ter sido reutilizado algumas vezes.

Baseado na importância de estudos nessa área e nas lacunas ainda encontradas na literatura, esse trabalho realizou estudo de breve análise acerca dos processos de oxidação da água e de soluções contendo íons cloreto como técnicas alternativas ao processo de alvejamento de tecidos de algodão. Sendo assim, foi realizada a eletrogeração dos agentes oxidantes sem aplicação de temperatura elevada, com potencial constante e na presença de diferentes eletrodos e soluções eletrolíticas.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O conteúdo apresentado neste capítulo é dedicado à descrição dos materiais e métodos utilizados para a realização deste trabalho. Os testes de alvejamento convencionais foram realizados em triplicata e as análises eletroquímicas foram conduzidas em conjunto com suas respectivas reações controle, sem aplicação de técnica de eletrogeração. A metodologia

eletroquímica escolhida como a melhor substituinte para o alvejamento tradicional foi também realizada em triplicata para garantir confiabilidade aos dados.

4.1 MATERIAIS

4.1.1 Superfície têxtil

O substrato têxtil de malha utilizado neste estudo apresenta composição de 100% algodão (CO) e densidade de aproximadamente 258 fios/cm². Segundo informações do fornecedor, o tecido não foi submetido a qualquer tipo de tratamento de acabamento ou lavagem após processo de malharia.

4.1.2 Reagentes

Os reagentes e os produtos auxiliares utilizados nos experimentos convencionais e eletroquímicos estão descritos no Quadro 1. Todos os produtos foram obtidos comercialmente sendo os auxiliares da marca Color Química do Brasil.

Quadro 1 – Reagentes utilizados

Reagente	Utilização
H_2O_2 (50%) e (30%)	Oxidante para alvejamento
$NaOH$ (50%)	Álcali
Na_2SO_4	Eletrólito para alvejamento eletroquímico
$NaHSO_3$	Redutor para alvejamento convencional
$NaClO$	Oxidante para alvejamento convencional
$NaCl$	Eletrólito para alvejamento eletroquímico
KCl	Eletrólito para alvejamento eletroquímico
NaH_2PO_4	Tampão fosfato
Na_2HPO_4	Tampão fosfato
CH_3COOH	Tampão fosfato
KH_2PO_4	Tampão fosfato
$NaHCO_3$	Tampão bicarbonato
$Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$	Tampão bicarbonato
WK Complex Fe-2	Sequestrante de Fe empregado no alvejamento convencional e eletroquímico com H_2O_2
Colorswet DTU-M	Detergente/Emulgador empregado no alvejamento convencional e eletroquímico com H_2O_2 e $NaClO$
Colorsperse DSP 1098	Sequestrante de Ca e Mg empregado no alvejamento eletroquímico com $NaClO$
OPTAVON NW-BR	Detergente empregado no alvejamento convencional com $NaClO$

Fonte: Autor (2019).

As soluções foram preparadas com água deionizada com condutividade $< 3 \mu S$ em 25 °C e obtida em equipamento deionizador modelo DM-50, marca Marte.

4.2 MÉTODOS

4.2.1 Tampões

O uso de tampões se faz necessário para realizar o controle do pH do meio reacional. Em alguns testes, o próprio sal utilizado para tamponar foi utilizado como eletrólito da reação.

4.2.1.1 Tampão fosfato

A solução estoque tampão fosfato monopotássico foi preparada utilizando-se 0,1 M de fosfato monopotássico (KH_2PO_4) e ajustando a solução até pH 7,4 com $NaOH$. Também foram preparadas soluções estoque tampão fosfato nos pH's 4,35, 7 e 8. Para obtenção destas foram preparadas soluções 0,1 M de fosfato monossódico (NaH_2PO_4) e fosfato dissódico (Na_2HPO_4). A solução obtida com a união das duas anteriores possui pH próximo de 6,7 e para alcançar pH 7 ou 8, adicionou-se $NaOH$ e quando a intenção foi obter o pH 4,35, foi adicionado ácido acético (CH_3COOH) à solução.

4.2.1.2 Tampão Bicarbonato

Foram preparadas soluções estoque de tampão bicarbonato nos pH's 9,3 e 10. Para obtenção de 100 mililitros (mL) de solução tampão pH 9,3, foi necessário 80 mL de solução 0,1 M de bicarbonato de sódio ($NaHCO_3$) e 20 mL de solução 0,1 M de carbonato de sódio decahidratado ($Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$). Para obtenção da solução tampão pH 10 foi utilizado 40 mL de solução 0,1 M de $NaHCO_3$ e 60 mL de solução 0,1 M de $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$.

4.2.2 Caracterização do substrato têxtil

O material têxtil utilizado foi analisado com o intuito de obter informações quanto às suas propriedades antes e após o processo eletroquímico. Para isso, foram realizadas técnicas de análise de grau de branco, hidrofiliidade e perda de massa.

4.2.2.1 Densidade do tecido de malha

A determinação do número de fileiras e colunas por unidade de comprimento da amostra de tecido de malha foi obtida com base na norma NBR 12060 (1991), elaborada pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Segundo a norma, as fileiras podem ser definidas como as laçadas que são formadas no sentido horizontal da malha enquanto as colunas são formadas no sentido vertical desta.

Utilizando uma lupa conta fios, foram realizadas análises em 5 diferentes partes do tecido de malha. A lupa permitiu a determinação da quantidade de fileiras e colunas por polegada e estas foram convertidas para o sistema internacional (SI), em centímetros (cm).

As informações referente à quantidade de fileiras e colunas possibilitam o cálculo da densidade do tecido, sendo essa representada pela quantidade de laçadas totais em uma área e calculada de acordo com a Equação 15.

$$Densidade \left(\frac{\text{laçadas}}{\text{cm}^2} \right) = \frac{\text{laçadas totais}}{\text{área (cm}^2\text{)}} \quad (\text{Equação 15})$$

4.2.2.2 Gramatura do tecido de malha

A gramatura do tecido se refere à quantidade de massa em gramas (g) por unidade de área (NBR 10591, 2008) e uma das maneiras de quantificá-la é utilizando amostras de 10x10 cm do tecido de malha. Para isso, foram retiradas 5 amostras de diferentes partes do tecido e a gramatura foi obtida por meio da Equação 16.

$$Gramatura = \frac{\text{massa (g)}}{\text{área (cm}^2\text{)}} = \frac{\text{massa (g)}}{10 \text{ cm} \cdot 10 \text{ cm}} = \frac{\text{massa (g)}}{100 \text{ cm}^2} \quad (\text{Equação 16})$$

4.2.3 Processos de Alvejamento Convencional

Os processos de alvejamento convencionais utilizando H_2O_2 e $NaClO$ foram conduzidos em aparelho de tingir com canecos modelo HT-TC 2200, marca Texcontrol, presente no Laboratório de Beneficiamento da Universidade Federal de Santa Catarina –

Campus Blumenau. Para realização dos experimento foram utilizados canecos com capacidade aproximada de 300 mL, 141 mm de altura e 55 mm de diâmetro.

4.2.3.1 Alveamento convencional com peróxido de hidrogênio

O alveamento com H_2O_2 foi efetuado com amostras de aproximadamente 2,5 g, em relação de banho (R:B) 1:20 com as proporções utilizadas demonstrada na Tabela 2, cujas quantidades foram determinadas a partir de dados empíricos obtidos de processos industriais.

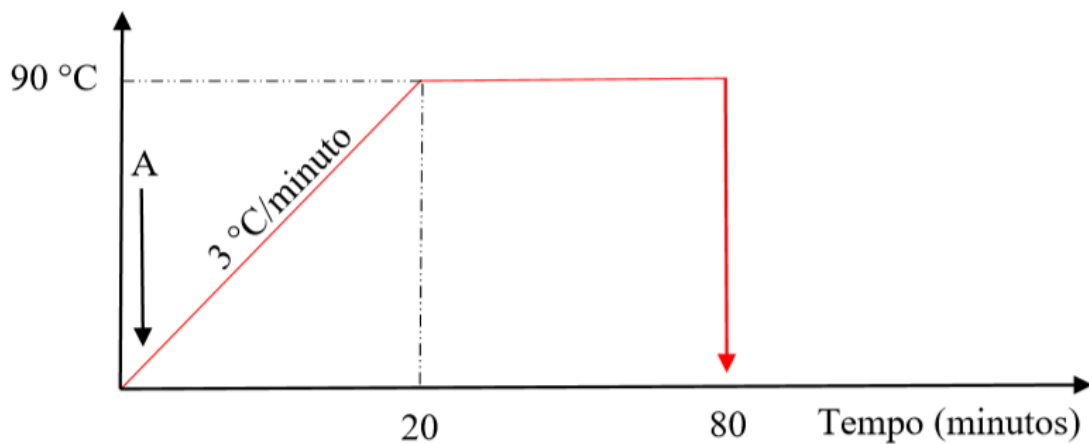
Tabela 2 – Composição da solução de alveamento convencional com peróxido de hidrogênio

Adição	Reagente	Condição/Quantidade
A	$NaOH$ (50%)	3 g/L
	H_2O_2 (50%)	3 g/L
	Sequestrante de Fe	1 g/L
	Detergente/Emulgador	2 g/L
	pH	11

Fonte: Autor (2019).

O processo empregado para o alveamento convencional com H_2O_2 pode ser observado na Figura 4.

Figura 4 - Processo de alveamento convencional com peróxido de hidrogênio



Fonte: Autor (2019).

4.2.3.2 Alvejamento convencional com hipoclorito de sódio

O alvejamento com $NaClO$ foi efetuado com amostras de aproximadamente 5,0 g em R:B = 1:20. As proporções utilizadas são demonstradas na Tabela 3, cujas quantidades foram determinadas a partir de dados empíricos obtidos de processos industriais.

Tabela 3 - Composição da solução de alvejamento convencional com hipoclorito de sódio

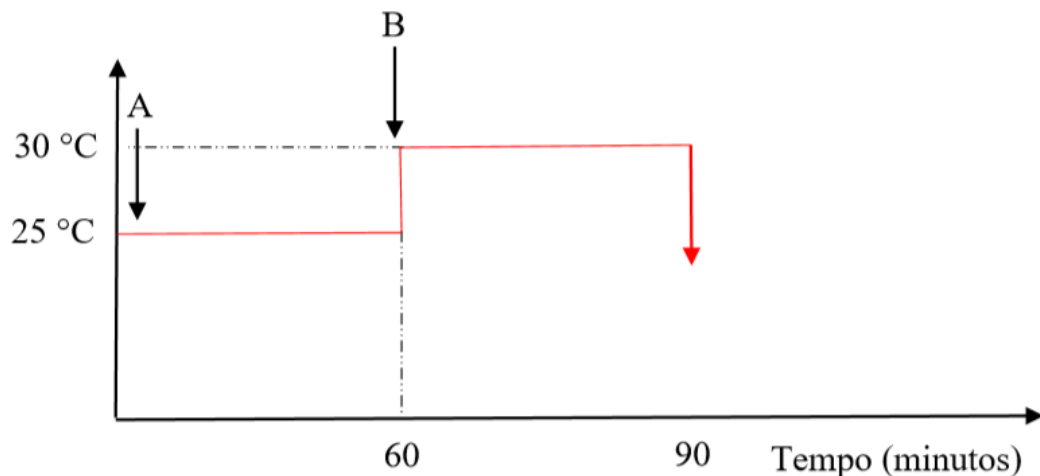
Etapa de adição	Reagente	Condição/Quantidade
A	R:B	1:20
	$NaOH$ (50%)	0,5 g/L ^a
	Cloro Ativo	3 g/L
	Detergente	1 g/L
	pH	9,5
B	$NaHSO_3$	2 g/L

^aQuantidade adicionada para pH 9,5.

Fonte: Autor (2019).

O processo empregado para o alvejamento convencional com $NaClO$ pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 - Processo de alvejamento convencional com hipoclorito de sódio



Fonte: Autor (2019).

4.2.4 Processo de Alvejamento Eletroquímico

Os testes eletroquímicos e as respectivas reações controle (sem utilização de eletroquímica) foram realizados em temperatura ambiente. Controle de temperatura e pH no início, na metade e ao final do tempo reacional também foram realizados.

Os experimentos de eletrogeração foram desenvolvidos em uma célula eletroquímica contendo 20 mL de solução, na qual foram imersos os eletrodos, sendo um ânodo, um cátodo e um eletrodo de referência. Os eletrodos ficaram a uma distância de aproximadamente 1 cm entre si e, em alguns casos, a distância entre eles se tornava um pouco maior por conta da configuração do sistema.

Foi utilizado um sistema elaborado com material plástico para permitir que o tecido de malha ficasse esticado e submerso durante todo o processo de alvejamento. A região do tecido que ficava em contato com a solução eletrolítica possuía área aproximada de 20 cm² e 0,1 g, sendo a solução agitada constantemente com o auxílio de barra magnética.

Para garantir boa homogeneização das soluções foram utilizados agitadores magnéticos HI-190M, da Hanna Instruments, com velocidade máxima de 1000 rotação por minuto (rpm). As análises de pH foram realizadas com pHmetro de bancada modelo K39-2014B, marca KASVI, com precisão e resolução de $\pm 0,01$ pH. A realização das reações eletroquímicas foram efetuadas por meio do potenciostato *Autolab* PGSTAT204, marca Metrohm, com intervalo de tempo igual a 1 segundo sendo a aplicação de potencial fixa com valor de 2,5 Volt (V) para todos os testes. Os equipamentos descritos estão presentes no Laboratório de Química Analítica e Físico-química da Universidade Federal de Santa Catarina – Campus Blumenau.

Nos experimentos foram testados eletrodos de trabalho de Platina (Pt), Estanho/Chumbo (Sn/Pb) na proporção 70/30, Alumínio (Al), Aço Inoxidável (Aço Inox) e Carbono (C). Para os testes com o eletrodo de Pt, Sn/Pb e C, o contra eletrodo utilizado foi o de Pt, nos outros casos, este era do mesmo material do eletrodo de trabalho. Os sistemas utilizavam sempre Ag/AgCl como eletrodo de referência. Todos os eletrodos foram obtidos comercialmente, adaptados para aplicação em laboratório e as suas propriedades geométricas podem ser visualizadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Dimensões dos eletrodos utilizados nas células eletrolíticas

Eletrodo	Valor
Platina	
Área geométrica	13 cm ²
Altura	3,2 cm
Estanho/Chumbo	
Área geométrica	20 cm ²
Altura	20 cm
Alumínio	
Área geométrica	2 cm ²
Altura	2 cm
Aço Inoxidável	
Área geométrica	2,3 cm ²
Altura	2 cm
Carbono	
Área geométrica	1,4 cm ²
Altura	2 cm

Fonte: Autor (2019).

4.2.4.1 Sistemas alvejantes de Oxidação da água

Experimentos de oxidação da água com o intuito de eletrogerar H_2O_2 foram realizados em tampão fosfato monopotássico pH 7,4 por 60 minutos e com eletrodo de Pt ou Sn/Pb. As soluções foram conduzidas em ausência de produtos auxiliares e com 40 g/L de NaH_2PO_4 ou nitrato de sódio ($NaNO_3$).

As reações associadas a eletrogeração com adição inicial de H_2O_2 foram realizadas em conjunto com os produtos auxiliares. Os testes preliminares com o intuito de definir o melhor eletrodo de trabalho em meio reacional levemente básico e brando – pH 8 – foram realizados em presença de 6 g/L de H_2O_2 . Os experimentos foram conduzidos utilizando potenciostato por 60 minutos em presença dos eletrodos de Pt, Sn/Pb, Al e Aço Inox. Houve a tentativa de branquear o substrato têxtil utilizando eletrodos de Pt, Sn/Pb e C em reações de 15 minutos na presença de tampão fosfato ácido pH 4,5. Além disso, experimentos em presença de solução $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ de Na_2SO_4 , utilizando eletrodo de Pt e Sn/Pb com 6 g/L de H_2O_2 em reações de 60 minutos também foram analisadas. Testes subsequentes com o intuito de analisar se a eletroquímica se mostrava eficiente quando utilizado $NaOH$ como eletrólito foram realizados em presença dos eletrodos de Pt e Sn/Pb contendo 3 g/L deste sal. Além do $NaOH$, as reações

continham 6 g/L de H_2O_2 e foram conduzidas por 60 minutos. Análises posteriores de variação das quantidades de H_2O_2 associados à diminuição do tempo reacional de 60 minutos para 15 minutos foram realizadas aumentando-se a concentração de eletrólito para 30 g/L, seguindo a metodologia (DAS et al., 2016). Com isso, experimentos de 15 minutos em presença dos eletrodos de Pt, 30 g/L de $NaOH$ e quantidades variadas de H_2O_2 (1, 3 e 5 g/L) foram analisados. Testes subsequentes tiveram ainda variação do pH de trabalho em presença do eletrodo de Pt. Nessa condição, foi utilizado tampão característico (7, 8, 9,3 ou 10) e 3 g/L de H_2O_2 , rodando as reações por 60 minutos.

4.2.4.2 Sistemas alvejantes de Oxidação de íons cloreto

Experimentos na presença de 30 g/L de eletrólito com íons cloreto - $NaCl$ ou KCl - para gerar cloro ativo no meio reacional por meio do processo de oxidação destes, foram realizados. As reações iniciais foram conduzidas na presença do eletrodo de Pt, em aparelhagem eletroquímica por 15 minutos, sem ajuste de pH e na presença ou não de produtos auxiliares.

Condições posteriores utilizando o mesmo eletrodo, na presença de auxiliares e com pH ajustado utilizando tampão bicarbonato pH 10 também foram observadas. Estes novos testes foram realizados primeiramente com diferentes concentrações de cloretos (10, 20, 30 ou 40 g/L) em testes de 15 minutos, em seguida, fixando-se a quantidade de eletrólito em 30 g/L, analisou-se como diferentes tempos reacionais (15, 30, 45 e 60 minutos) interferiam o branqueamento dos tecidos.

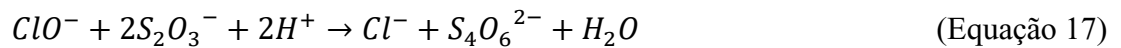
4.2.4.2.1 Determinação de Cloro Ativo

A primeira etapa para determinação da quantidade de cloro ativo consistiu em realizar a padronização da solução de tiosulfato de sódio ($Na_2S_2O_3$) adicionando 0,05 g de iodato de potássio (KIO_3) em 25 mL de água. Após homogeneização, adicionou-se 1 g de iodeto de potássio (KI) e, após dissolução, 10 mL de ácido clorídrico (HCl) ($0,1 \text{ mol L}^{-1}$). A reação ocorrida nesta etapa tende a formar iodo deixando a solução com coloração marrom. Em seguida, iniciou-se a titulação com solução de $Na_2S_2O_3$ ($0,1 \text{ mol L}^{-1}$), obtendo coloração amarela clara, e, em seguida, adiciona-se 5 mL de solução de amido utilizada como indicador, continuando a titulação até o desaparecimento da coloração azul. A preparação da solução de

amido consistiu em misturar 2 g deste com 25 mL de água e posterior adição de 250 mL de água fervente sob agitação (SOUSA et al., 2012).

A próxima etapa consistiu em realizar a titulação utilizando 1 mL de amostra. Para isso, titulou-se uma solução com 1,0 g de *KI*, 25 mL de água e 20 mL de CH_3COOH (4,0 mol L^{-1}), adicionando-se em seguida 5 mL da solução de amido e continuando a titulação até que a cor azul desaparecesse.

A última etapa a ser realizada foi o cálculo da concentração aproximada de cloro ativo presente na solução com base na estequiometria da reação descrita na Equação 17.



4.2.5 Análises de Grau de Branco

As medições do grau de branco das amostras têxteis foram realizadas no tecido original e nos tecidos tratados após os processos de alvejamento, com o objetivo de avaliar a eficiência de alvejamento com a aplicação do processo eletroquímico.

Para realizar as análises da brancura de Berger foi utilizado o espectrofotômetro modelo *Datacolor* 500, marca *Datacolor*, com iluminante D65/10°. O equipamento está presente no Laboratório de Cuidados Têxteis da Universidade Federal de Santa Catarina – Campus Blumenau. Fizeram-se quatro leituras de grau de branco em pontos diferentes de cada amostra, a partir das quais o próprio *software* forneceu um valor médio do grau de branco.

4.2.6 Hidrofilidade

É possível determinar a hidrofilidade de amostras com base na norma NBR 13000 (1993) analisando-se o tempo médio que uma gota leva para ser absorvida pelo tecido. Essa análise serve como método comparativo de forma que quanto menor for o tempo para completa absorção, maior é a hidrofilidade do tecido.

4.2.7 Perda de massa

A perda de massa do tecido de malha foi calculada com base na massa da amostra seca usando a Equação 18.

$$\text{Perda de massa (\%)} = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \cdot 100 \quad (\text{Equação 18})$$

Sendo M_1 e M_2 a massa do tecido antes e depois do alvejamento convencional ou eletroquímico, respectivamente, em gramas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados e as discussões dos experimentos realizados. Primeiramente, são apresentados os dados obtidos para as caracterizações dos tecidos de malha e em seguida é realizada uma discussão acerca dos processos eletroquímicos para alvejamento, com o intuito de determinar as condições ideais do processo alternativo. Após isso, são apresentados os resultados dos ensaios de perda de massa e hidrofiliidade e por fim, é apresentado um comparativo entre os processos eletroquímicos e de alvejamento convencional, tanto realizados na presença de H_2O_2 , bem como de $NaClO$.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO SUBSTRATO TÊXTIL

Com o intuito de caracterizar o tecido de estudo, as amostras tiveram sua densidade e posterior gramatura calculada de acordo com seus parâmetros estruturais.

5.1.1 Densidade do tecido de malha

Na Tabela 5 são apresentados os resultados referentes as análises da quantidade de fileiras e colunas do tecido de malha utilizada.

Tabela 5 - Número de fileiras e colunas em 1 centímetro dos tecidos de malha

Amostra	Colunas	Fileiras	Densidade
1	20,08	13,39	268,77
2	20,47	13,78	282,10
3	21,26	12,60	267,84
4	21,26	12,60	267,84
6	19,69	12,60	248,00
Média	20,47	12,60	257,9
Desvio Padrão	0,55	0,63	0,35

Fonte: Autor (2019).

5.1.2 Gramatura do tecido de malha

Na Tabela 6 são apresentados os resultados da massa e gramatura das amostras de tecido de malha bem como a gramatura média do tecido obtida via análise descrita na norma NBR 10591 (2008).

Tabela 6 - Massa dos tecidos de malha em amostras de 10x10 cm

Amostra	Massa (g)	Gramatura (g/cm²)
1	2,21	0,02
2	2,29	0,02
3	2,25	0,02
4	2,30	0,02
5	2,27	0,023
Média	2,27	0,020
Desvio Padrão	0,38	0,0013

Fonte: Autor (2019).

5.2 ALVEJAMENTO CONVENCIONAL

Com o intuito de fazer análises comparativas, foram realizados processos de alvejamento convencionais na presença de H_2O_2 e $NaClO$. As médias de brancura de Berger obtidas nestes testes na presença e na ausência de auxiliares podem ser observadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Médias do Grau de Branco obtido via alvejamentos convencionais

Alvejamento convencional	Grau de Branco	
	Presença de auxiliares	Ausência de auxiliares
H_2O_2	68	61
$NaClO$	71	65

Fonte: Autor (2019).

Como esperado, o grau de branco obtido em ambos os alvejamentos convencionais foram muito similares. Além disso, os produtos auxiliares utilizados em conjunto com o experimento se mostraram eficiente no auxílio ao branqueamento do substrato têxtil.

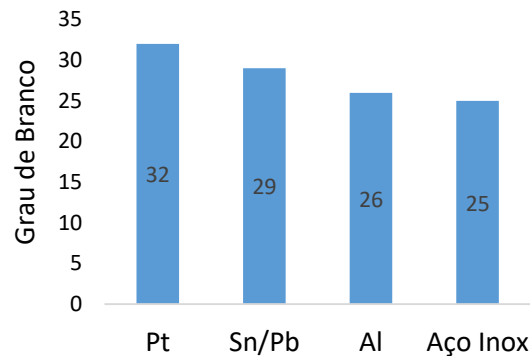
5.3 ALVEJAMENTO ELETROQUÍMICO

5.3.1 Alvejamento eletroquímico via oxidação da água

Os testes de oxidação da água foram realizados com o intuito de eletrogerar H_2O_2 no meio reacional para que este promovesse o branqueio do tecido de malha. Os resultados obtidos não foram satisfatórios já que os tecidos alvejados eletroquimicamente não melhoraram o grau de alvura acima de 5% quando comparados aos tecidos não tratados. A similaridade entre a brancura dos substratos pode ser justificada pelas condições testadas no processo, bem como pela dificuldade em utilizar um eletrodo eficiente e seletivo que promova eficientemente a oxidação da água, como descrito por Siahrostami et al. (2017). Por conta da ineficiência do processo, os testes de eletrólise da água via oxidação em ausência de H_2O_2 não tiveram continuidade e resultados melhores na presença de H_2O_2 foram buscados.

Sabe-se (FAROOQ et al., 2013) que o aumento da temperatura está associado à diminuição da resistência à tração do tecido de algodão e, por isso, condições em temperaturas diferentes da ambiente não foram testadas. Os experimentos iniciais em presença de H_2O_2 variando-se os eletrodos de trabalho geraram dados promissores com relação à eletrogeração obtendo-se melhoria de até 59,37% quando comparado ao tecido cru. Sem aplicação eletroquímica o grau de branco obtido foi próximo de 13, e, com aplicação da técnica ^oBerger superior à 30 foi atingido, como pode ser observado na Figura 6.

Figura 6 - Grau de Branco obtido variando-se os eletrodos de trabalho na presença de 6 g/L de H_2O_2 , pH 8 e tempo reacional de 60 minutos



Fonte: Autor (2019).

Os dados obtidos nesta primeira etapa permitem definir o eletrodo de Pt como o melhor eletrodo para branquear as amostras trabalhadas nas condições descritas. Como os valores obtidos na presença deste material e os demais ficaram próximos, análises testando estes outros eletrodos foram realizadas posteriormente em diferentes condições reacionais.

Materiais a base de C são seguros do ponto de vista ambiental e, além disso, possuem grupos funcionais oxigenados de superfície que facilitam a troca de elétrons com substâncias orgânicas (RAJESHWAR; IBANEZ, 1997). Com isso, testes eletroquímicos em meio ácido foram realizados na presença do eletrodo de C bem como dos dois eletrodos que obtiveram os melhores resultados na análise anterior. Os dados obtidos nesta etapa foram insatisfatórios para o eletrodo de C, havendo alta degradação do material por oxidação e fazendo com que particulados deste permanecessem na superfície do tecido mesmo após lavagem com água. Os testes utilizando Pt e Sn/Pb alcançaram grau de branco 31, em ambos os casos. Estudos afirmam que os materiais têxteis sofrem alterações em suas propriedades superficiais e mecânicas quando sujeitos a meios ácidos. Arelando este fato com a não obtenção de grau de branco que justifique a exposição dos substratos têxteis a este meio, fez com que a descontinuidade dos testes nesta condição reacional fosse utilizada como justificativa para descartar tal pH de trabalho nos testes posteriores (CARVALHO, 2000).

Os testes utilizando Na_2SO_4 em presença dos eletrodos mais eficientes até então, promoveram grau de branco de 23 e 32 para os eletrodos de Pt e Sn/Pb, respectivamente.

Com o intuito de entender como um álcali forte afetava o processo de branqueio, 3 g/L de *NaOH* foi adicionado em uma nova etapa de testes. Nestes experimentos, o θ Berger igual a 45 para os dois eletrodos foi observado e o processo eletroquímico não se mostrou eficiente no auxílio ao branqueamento já que resultado muito similar (44) foi obtido sem exposição das amostras à técnica.

Em níveis industriais, entende-se a necessidade ambiental em utilizar a menor quantidade de reagentes prejudiciais ao meio ambiente. Com isso, foram realizados experimentos diminuindo e variando as quantidades de H_2O_2 buscando entender como a quantidade deste reagente afeta o processo de eletrogeração e, conseqüentemente, o alvejamento dos tecidos de malha. Testes curtos realizados com a mesma quantidade de eletrólito da etapa anterior mas, variando-se as quantidades de H_2O_2 , forneceram dados positivos com melhoria do grau de branco de até 10%, como pode ser observado na Tabela 8.

Tabela 8 – Grau de Branco obtido com a variação da concentração de H_2O_2 na presença dos eletrodos de Pt ou Sn/Pb, 3 g/L de *NaOH* e tempo reacional de 15 minutos

Concentração de H_2O_2 (g/L)	Eletrodo	Grau de Branco	
		Reação controle	Reação Eletroquímica
1,0	Pt		35
	Sn/Pb	34	29
3,0	Pt		40
	Sn/Pb	36	30
5,0	Pt		38
	Sn/Pb	37	41

Fonte: Autor (2019).

Apesar da melhora na brancura do tecido, a eletroquímica foi novamente pouco eficaz já que resultados com e sem aplicação de eletrogeração apresentaram grau de branco similar. O maior número de resultados satisfatórios com relação ao eletrodo de Pt associados ao menor consumo de H_2O_2 obtidos até então, fizeram com que este fosse utilizado como eletrodo principal nos testes posteriores.

Visando melhorar a eficiência do processo e obter maior grau de branco nos tecidos, a aplicação de solução eletrolítica de *NaOH* em maior concentração foi realizada, podendo estes dados serem observados na Tabela 9.

Tabela 9 - Grau de Branco obtido com a variação da concentração de H_2O_2 na presença do eletrodo de Pt, 30 g/L de $NaOH$ e tempo reacional de 15 minutos

Concentração de H_2O_2 (g/L)	Grau de Branco	
	Reação Controle	Reação Eletroquímica
1	28	27
3	33	27
5	30	32

Fonte: Autor (2019).

Os dados obtidos nesta etapa permitem concluir que quando utilizadas altas concentrações de $NaOH$, o grau de branco não é tão afetado pela variação do H_2O_2 como quando compara-se com os casos em que a quantidade do mesmo eletrólito foi menor – 3 g/L.

Por fim, a ausência de resultados satisfatórios na comparativa entre aplicação ou não de técnica eletroquímica na presença de $NaOH$ em temperatura ambiente (25 °C), como descrito na Tabela 9, permitem concluir que a condição reacional testada é ineficiente e 52,94% pior quando comparada ao alvejamento convencional. Em busca de resultados melhores, reações variando-se o pH de trabalho na presença do melhor eletrodo foram realizadas. Os resultados obtidos nesta etapa podem ser observadas na Tabela 10.

Tabela 10 – Grau de Branco obtido com a variação de pH na presença do eletrodo de Pt, 3 g/L de H_2O_2 e tempo reacional de 60 minutos

pH	Grau de Branco	
	Reação Controle	Reação Eletroquímica
7	24	30
8	23	33
9,3	28	40
10	40	41

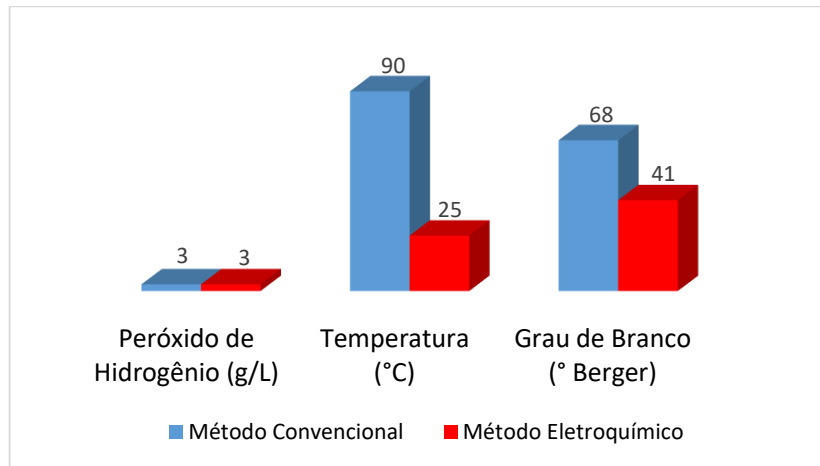
Fonte: Autor (2019).

Em todos os casos descritos na Tabela 10, a aplicação da técnica eletroquímica se mostrou efetiva obtendo melhoria no grau de branco de até 43,5% em pH 8 e 42,8% em pH 9,3.

Segundo relatos da literatura (PELEGRINO et al., 2002; SALA; GUTIÉRREZ-BOUZÁN, 2012) em reações eletroquímicas há a possibilidade de ocorrer reações simultâneas, como as descritas no item 5 do capítulo 3. Este fato justifica alguns resultados dúbios relatados

até então. Apesar disto, uma análise comparativa qualitativa entre o método convencional e o método eletroquímico, ambos na presença de H_2O_2 , foi realizada e pode ser observada na Figura 7.

Figura 7 - Análise qualitativa dos resultados obtidos via método convencional e eletroquímico na presença de peróxido de hidrogênio



Fonte: Autor (2019).

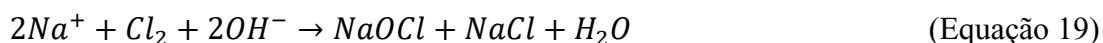
Os melhores resultados obtidos nos testes de eletrogeração na presença de H_2O_2 não alcançaram grau de branco similar ao método convencional, portanto, sugere-se que os valores alcançados podem ser comparados ao processo de pré-alveamento de tecido de algodão. Isto porque no processo de pré-alveamento não há a necessidade de ter o tecido branco e sim, somente limpo, ou seja, a brancura exigida é menor, em torno de 50 a 55 °Berger (PICCOLI, 2014). Além disto, para determinados tipos de tingimento e estampas de cores escuras, a técnica descrita também se mostra uma boa alternativa (REIS, 2016). Ademais, objetivando resultados melhores, novos testes foram realizados.

5.3.2 Alveamento eletroquímico via oxidação de íons cloreto

A literatura (VITERO et al., 2017) mostra que o tratamento eletroquímico via oxidação de íons cloreto afeta as propriedades de superfície e resistência do tecido de algodão de forma similar ou menos prejudicial que o tratamento convencional. Por esse motivo, testes de oxidação dos referidos compostos foram realizados com o intuito de gerar cloro ativo no meio reacional. Os novos procedimentos possuíam o objetivo de gerar *in situ* agentes oxidantes

partindo de cloretos, gerando assim, um grau de branco que pudesse ser comparado com o processo convencional no qual utiliza-se o *NaClO* como agente de alvejamento.

De acordo com Rajeshwar e Ibanez (1997), sabe-se que é possível obter *NaClO* mediante tratamento de uma solução concentrada de *NaCl* (Equação 19).



Quando aplicada técnica eletroquímica de eletrólise utilizando este sal, ocorre sua decomposição em seus elementos constituintes, sódio (*Na*) e *Cl*. O *Na* reage com a água formando *NaOH* e gás hidrogênio (*H₂*). A presença de *Cl₂* e *NaOH* no meio reacional promove a geração do agente de alvejamento, neste caso, o *NaClO* (DAS et al., 2016). Reações similares podem ocorrer quando o sal do meio é o cloreto de potássio (*KCl*).

O pH mais favorável para o acontecimento destas reações envolvendo eletrogeração de *NaClO* situa-se entre 9 e 11,5, sendo que a quantidade de *HClO* no meio aumenta à medida que o pH diminui. Além disso, quando aplicado faixas de pH inferiores - 5 a 9 – bem como temperaturas acima de 30 °C, sabe-se que há uma aceleração notável na taxa de degradação da celulose deteriorando a superfície da fibra (CARVALHO, 2000; RAJESHWAR; IBANEZ, 1997). Com base nisso, para viabilizar a eletrogeração foram utilizadas soluções eletrolíticas de *NaCl* e *KCl* na presença do melhor eletrodo dos testes posteriores bem como em temperatura ambiente, meio alcalino e presença ou não de produtos auxiliares, podendo os resultados desta primeira etapa serem observados na Tabela 11.

Tabela 11 - Grau de branco obtido via eletrogeração de hipoclorito partindo de diferentes eletrólitos na presença do eletrodo de Pt, 30 g/L de eletrólito característico e tempo reacional de 15 minutos

Eletrólito	Grau de Branco			
	Ausência de Auxiliares		Presença de Auxiliares	
	Reação controle	Reação Eletroquímica	Reação Controle	Reação Eletroquímica
<i>NaCl</i>	21	26	28	43
<i>KCl</i>	18	28	33	34

Fonte: Autor (2019).

Os resultados obtidos com os sais *NaCl* e *KCl* na presença de eletrodo de Pt comprovam a eficiência da aplicação eletroquímica já que em todas as análises é possível observar melhora no grau de branco. Apesar disso, quando utilizado *KCl* na presença de produtos auxiliares, a eficiência da técnica de eletrogeração não foi tão eficaz e se aproximou muito do grau de branco obtido sem aplicação de técnica eletroquímica. Para os outros casos, a significativa melhora na brancura indicou a importância dos produtos auxiliares no auxílio ao acesso do agente oxidante em solução à fibra.

Associando o pH do meio mais favorável para o acontecimento das reações eletroquímicas descritas com o pH ideal para realização do alvejamento comum, foram realizados novos testes em presença do tampão bicarbonato pH 10 com o intuito de melhorar o grau de branco. Além disso, quando aplicada técnica eletroquímica, sabe-se que o aumento da quantidade de eletrólito tende a produzir maiores proporções de agente oxidante na solução e que para preservar as propriedades do tecido e não consumir reagente desnecessário, ou seja, reagente que não reagirá eletroquimicamente, concentrações muito elevadas não devem ser utilizadas (SHORE; BALDWINSON, 2002; VITERO et al., 2017). Com isso, testes variando as concentrações de *NaCl* e *KCl* também foram realizadas.

Em presença de tampão bicarbonato, resultados de melhoria do grau de branco mais satisfatórios (até 75,93% melhor) foram obtidos com relação ao tecido não alvejado. Os valores de brancura comparativos entre os processos com e sem aplicação de técnica eletroquímica estão descritos na Tabela 12 e os dados com aplicação da técnica podem ser visualizados na Figura 8.

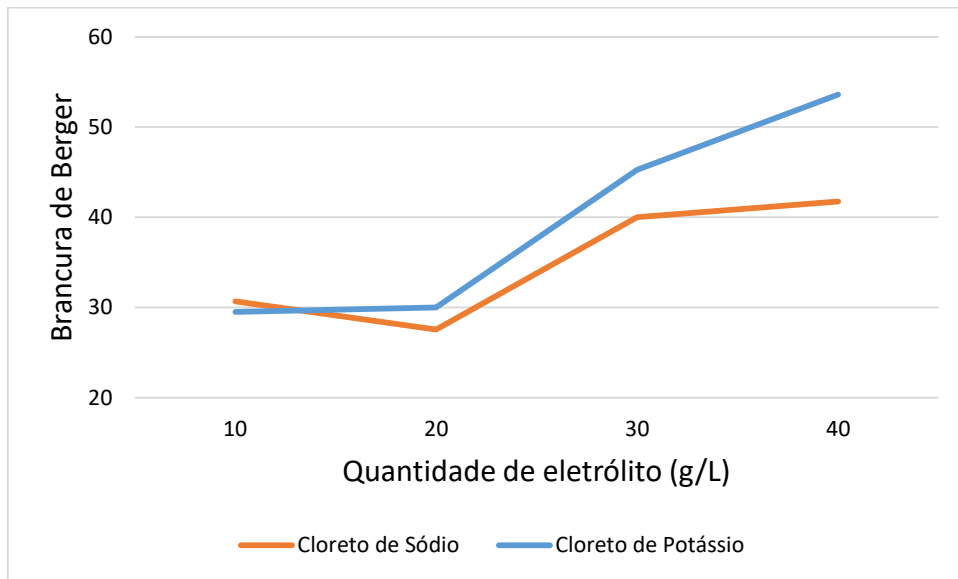
Tabela 12 - Grau de branco obtido via eletrogeração de hipoclorito em diferentes concentrações de eletrólito característico na presença do eletrodo de Pt, pH 10 e tempo reacional de 15 minutos

Quantidade de eletrólito (g/L)	Grau de Branco			
	<i>NaCl</i>		<i>KCl</i>	
	Reação Controle	Reação Eletroquímica	Reação Controle	Reação Eletroquímica
10	29	31	25	30
20	25	28	29	30
30	30	40	29	45
40	28	42	26	54

Fonte: Autor (2019).

Apesar de melhores resultados serem obtidos no sistema alvejante contendo íons cloreto, a brancura obtida até então não é considerada boa o suficiente para definir o processo como um bom substituinte ao processo convencional, no qual a brancura alcançou °Berger 71.

Figura 8 – Grau de branco obtido via eletrogeração de íons cloreto partindo de diferentes concentrações de eletrólito característico em tempo reacional de 15 minutos



Fonte: Autor (2019).

Concentrações de eletrólito mais baixas como 10 g/L e 20 g/L não geraram resultados de grau de branco satisfatórios, havendo somente significativa diferença nos níveis de brancura quando testes com quantidades superiores, como 30 g/L e 40 g/L, foram realizados. Os dados obtidos com as reações controle obtiveram grau de branco similar para ambos os cloretos quando utilizadas quantidades de 10 g/L e 20 g/L de eletrólito e o processo se mostrou efetivo já que em todos os casos os valores obtidos por meio da aplicação eletroquímica foram iguais ou superiores às reações controle. Apesar da melhora no grau de branco quando utilizada concentração de 40 g/L para os dois cloretos, a pouca diferença obtida não justifica a utilização de maior quantidade de *NaCl*. Com isso, determinou-se 30 g/L como a melhor quantidade a ser utilizada para o teste posterior.

O tempo que o tecido permanecerá em contato com a solução de alvejamento é um fator crucial na realização do processo de alvejamento. Deste modo, testes variando-se o tempo reacional nas mesmas condições anteriores foram empregados selecionando tempos de

processamento que não ultrapassassem o tempo utilizado nos processos convencionais. Os resultados obtidos utilizando íons cloreto característico e variando-se o tempo reacional podem ser observados na Tabela 13 e Figura 9. A Tabela 13 também fornece os dados alcançados nas reações controle.

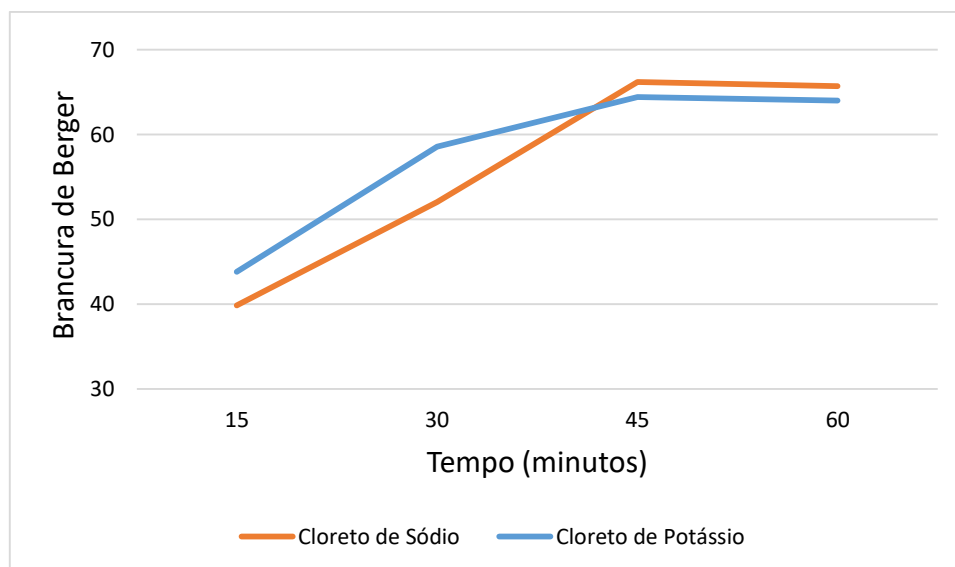
Tabela 13 - Grau de branco obtido via eletrogeração de hipoclorito em diferentes tempos reacionais na presença do eletrodo de Pt, 30 g/L de eletrólito característico, pH 10 e tempo reacional de 15 minutos

Tempo (minutos)	Grau de Branco			
	<i>NaCl</i>		<i>KCl</i>	
	Reação Controle	Reação Eletroquímica	Reação Controle	Reação Eletroquímica
15	30	40	23	44
30	28	52	31	59
45	24	66	32	64
60	30	65	30	64

Fonte: Autor (2019).

Com apenas 45 minutos de tratamento e partindo de ambos os cloretos, melhorias na brancura do tecido cru de 80,30% e 79,69% são obtidas utilizando *NaCl* e *KCl*, respectivamente. Em todos os experimentos é possível observar a eficiência da aplicação de técnica eletroquímica ao sistema de alveijamento.

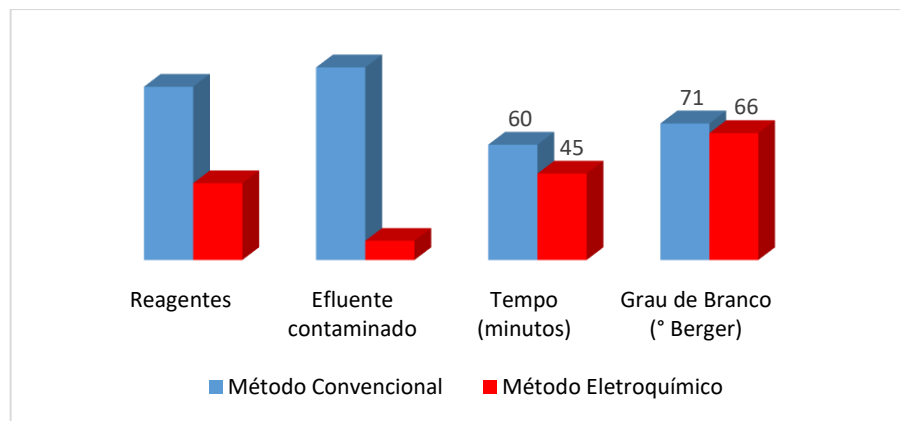
Figura 9 – Grau de branco obtido via eletrogeração de íons cloreto em diferentes tempos reacionais na presença de 30 g/L de eletrólito característico



Fonte: Autor (2019).

A literatura (ABDEL-HALIM; AL-DEYAB, 2013) demonstra que a relação atrelada à quantidade de agente oxidante é proporcional a melhoria do grau de branco do tecido. Com isto, os resultados obtidos confirmam a ideia de quanto maior o tempo reacional, tende-se a ter mais quantidade de agente oxidante gerado no meio e, desta forma, o tecido fica mais branco. Com isso, uma análise qualitativa relacionada ao processo convencional na presença de $NaClO$ e ao processo eletroquímico em presença de íons cloreto pode ser analisada na Figura 10.

Figura 10 - Análise qualitativa dos resultados obtidos via método convencional na presença de hipoclorito de sódio e eletroquímico eletrogerando íons cloreto

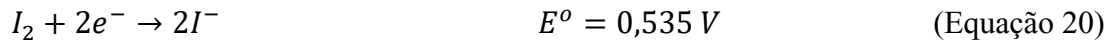


Fonte: Autor (2019).

5.3.2.1 Determinação da Quantidade de Cloro Ativo

Quando os compostos formados ao final do processo são mais tóxicos que os anteriores, o processo de oxidação com Cl se torna inaceitável para aplicação industrial (GUTIÉRREZ; CRESPI, 1999). Desta forma, foi necessário analisar a quantidade de Cl residual proveniente das soluções de oxidação de íons cloreto com o intuito de avaliar se o processo reverso para obtenção de cloretos seria necessário. As análises de cloro ativo foram realizadas nas reações que forneceram aos tecidos de malha os melhores grau de branco partindo dos cloretos de $NaCl$ e KCl . A quantidade de cloro ativo disponível ao final de uma solução de alvejamento pode ser calculada via metodologia de análise de volumetria redox, a qual envolve a redução do iodo baseada na semirreação descrita na Equação 20. Na iodometria,

o iodo é um agente oxidante moderadamente forte e pode ser utilizado para titular um agente redutor.



A reação referente ao iodo liberado titulado com a solução de $Na_2S_2O_3$ em presença de amido pode ser descrita pela Equação 21.



As reações conduzidas por 45 minutos partindo de $NaCl$ como eletrólito geraram um valor médio de cloro ativo em torno de 0,0744%, após o alvejamento do tecido. Para os testes de 60 minutos na presença deste mesmo sal, bem como para os testes de 45 e 60 minutos utilizando KCl , não foi possível obter a quantidade de cloro ativo na solução.

A incapacidade de detecção de Cl por meio da técnica de titulação nas soluções descritas fornece a ideia de que a quantidade de ClO^- gerada no meio foi similar à quantidade necessária para branquear o tecido até o grau desejado. Sendo assim, não há necessidade de realizar o processo inverso com o intuito de converter o cloro ao $NaCl$ ou KCl novamente já que não houve excesso de cloro ativo no meio.

5.3.3 Hidrofilidade

A hidrofilidade das amostras foi estudada com o intuito de entender como o tecido sofreria ou não alterações em suas propriedades de absorção após ser sujeito à um sistema eletroquímico. Esta análise é importante por conta dos processos posteriores que o material poderá estar sujeito, sendo portanto, um parâmetro importante a ser analisado. Os dados referente a hidrofilidade dos tecidos alvejados convencionalmente podem ser observados na Tabela 14.

Tabela 14 – Hidrofilidade dos tecidos de malha antes e depois do alvejamento convencional

Tempo para completa umectação (segundos)			
<i>H₂O₂</i>		<i>NaClO</i>	
Ausência de auxiliares	Presença de auxiliares	Ausência de auxiliares	Presença de auxiliares
47	0	58	0

Fonte: Autor (2019).

Na presença de auxiliares, percebe-se que a umectação foi instantânea para os alvejamentos convencionais, comprovando a eficiência dos produtos. As análises referentes ao processo com íons cloreto formando ClO^- forneceram alteração na hidrofilidade nos testes de variação da quantidade de eletrólito e tempo reacional, as quais podem ser observadas na Tabela 15.

Tabela 15 – Hidrofilidade dos tecidos de malha após tratamento eletroquímico envolvendo eletrogeração de íons cloreto

Quantidade de eletrólito (g/L)	Tempo reacional (minutos)	Tempo para completa umectação (segundos)			
		<i>NaCl</i>		<i>KCl</i>	
		Reação Controle	Reação Eletroquímica	Reação Controle	Reação Eletroquímica
10	15	184	202	192	142
20	15	215	>600	172	121
30	15	176	360	138	90
40	15	61	>600	69	41
30	30	>600	156	132	38
30	45	>600	180	154	28
30	60	550	300	170	50

Fonte: Autor (2019).

Sabendo que o tecido de malha cru possui hidrofilidade superior a 600 segundos, os dados da Tabela 15 fornecem informações que comprovam a eficácia dos processos eletroquímicos em tornar o substrato menos hidrofóbico, facilitando assim, os processos

posteriores da cadeia têxtil. Apesar disso, quando comparado ao processo convencional na presença de auxiliares, no qual a absorção da água ocorre instantaneamente à aplicação da gota, o processo eletroquímico não se mostrou tão efetivo quanto o convencional.

5.3.4 Perda de massa

A perda de massa foi constantemente monitorada com o intuito de analisar se as amostras sujeitas aos processos convencionais e principalmente eletroquímicos, sofriam perda de suas fibrilas. Uma variação considerável na perda de massa do tecido provavelmente representa que a celulose está sendo degradada e o substrato está tendo suas propriedades alteradas, fator que é indesejado em um processo têxtil. Os maiores índices de perda de massa obtidos nos experimentos analisados se aproximaram a 1% quando comparado a massa original do tecido sem tratamento. O percentual associado foi considerado de possível descarte e a perda foi definida como não importante para os processos realizados.

5.4 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE ALVEJAMENTO CONVENCIONAL E ELETROQUÍMICO

Similar a metodologia (PANIZZA et al., 2007), resultados mais satisfatórios alcançando melhorias na brancura de até 80%, foram obtidos envolvendo a eletrogeração de cloro ativo. Apesar de ocorrer o branqueamento dos tecidos de malha em quase todas as condições testadas no trabalho, somente os testes de oxidação na presença de eletrólito com íons cloreto são passíveis de comparação com o método convencional de alvejamento. Esta análise comparativa está descrita na Tabela 16.

Tabela 16 - Análise comparativa entre processo convencional utilizando hipoclorito de sódio e processo eletroquímico alternativo eletrogerando íons cloreto

Processo	Tempo reacional	pH	Agente oxidante ^a	Cloro ativo ^b	Temperatura	Grau de Branco
Convencional	60 min	9,5	6% ^c	0,5%	25 °C	71
<i>NaCl</i>	45 min	10	-	0,07%	25 °C	66
<i>KCl</i>	45 min	10	-	0	25 °C	64

^aQuantidade de agente oxidante adicionado. Porcentagem calculada sobre o peso do material. ^bQuantidade medida ao final da reação, cloro ativo residual.

Fonte: Autor (2019).

Na Tabela 16 é possível verificar o ganho obtido em tempo reacional quando compara-se o método convencional com os processamentos eletroquímicos. Grau de branco muito similar ao alvejamento comum é obtido em um intervalo de tempo 33,33% menor.

A não necessidade da adição de agente oxidante, evitando assim, o transporte de reagentes perigosos e instáveis, bem como a diferença nas quantidades de cloro ativo residual que excluem a necessidade de processo de neutralização posterior, fornecem ao estudo um apelo fortemente ambiental. Além disso, evita-se problemas associados ao armazenamento prolongado dos reagentes contendo cloro, o qual provoca diminuição espontânea da concentração de cloro ativo (DAS et al., 2016; HAGE e LIENKE, 2006; VITERO et al., 2017).

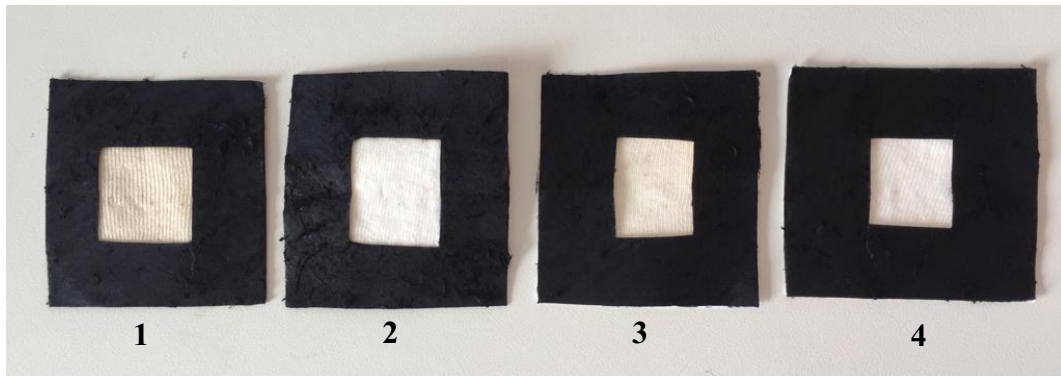
Com isso, o processo alternativo proposto, com a geração de ClO^- característico, promove a economia de reagentes, reduz o tempo reacional e permite que o processo de alvejamento seja realizado em menor temperatura que o processo convencional. Além das melhorias associadas, com o processo alternativo obtém-se grau de branco muito próximo ao obtido de maneira convencional.

Apesar de a quantidade dos auxiliares não ter sido estudada neste trabalho, os dados discutidos sugerem a importância desses produtos para obtenção de um processo mais eficiente. Isso porque na presença dos aditivos foi alcançado maior grau de branco devido a maior absorção da solução por parte da fibra.

Quando analisa-se a configuração eletroquímica é possível focar na facilidade de limpeza do sistema bem como sua conservação ao longo do tempo. O arranjo associado possui baixo custo de manutenção e se o processo for realizado corretamente, não há corrosão nem incrustações no equipamento (DAS et al., 2016).

Por fim, uma comparativa entre o método convencional na presença de $NaClO$, eletroquímico em presença de H_2O_2 e eletroquímico em presença de íons cloreto pode ser visualizado na Figura 11.

Figura 11 - Análise visual comparativa entre tecido cru (1), tecido alvejado convencionalmente com hipoclorito de sódio (2), alvejado eletroquimicamente em presença de H_2O_2 (3) e em presença de íons cloreto (4)



Fonte: Autor (2019).

6 CONCLUSÃO

Neste trabalho investigou-se a eficiência eletroquímica na eletrogeração de agente oxidante em simultâneo alvejamento de tecido de algodão sujeito à diferentes condições experimentais. Resultados obtidos via eletrólise da água com objetivo de eletrogerar H_2O_2 não foram satisfatórios e, com isto, não promoveram um tecido mais branco. Estes dados podem ser justificados pelo potencial de oxidação associado ao sistema que promove o acontecimento de outras reações que não a de eletrogeração de H_2O_2 . As análises referente aos testes de eletrogeração em presença de H_2O_2 foram eficientes o suficiente para realizar a comparativa deste com processos de pré-alvejamento, ou seja, processos em que não há necessidade de branquear o tecido (SANTOS; BARCELLOS; PICCOLI, 2017). Portanto, caso o material têxtil seja destinado ao pré-alvejamento, tingimento de cores lisas menos claras e/ou estamparia destas, o processo descrito se mostra eficiente. Testes de oxidação de íons cloreto formando ClO^- foram satisfatórios alcançando brancura de Berger 66 e por isso, é possível compará-los com o processo convencional. Observa-se que no alvejamento eletroquímico eletrogerando ClO^- leva no máximo 45 minutos para obter grau de branco satisfatório e similar ao da indústria. Enquanto isso, no método convencional com este tipo de reagente são necessários cerca de 60 minutos.

Ensaio com diferentes eletrodos permitiram definir o eletrodo de Pt como o mais eficiente. Como não houve variação de corrente aplicada, 2,5 V foi definido como um potencial

adequado para os testes realizados. O consumo de água e reagentes que possivelmente seriam economizados neste processo são fatores que fornecem grande importância ao estudo.

Resumidamente, os dados apresentados sugerem que o processo eletroquímico é mais viável perante o processo de alvejamento convencional pelos seguintes aspectos:

- a. Os eletrodos usados para a instalação têm vida útil longa, a instalação da célula apresenta baixo custo e a configuração desta é simples;
- b. O processo é mais seguro pois não envolve o manuseio e transporte de reagentes perigosos e instáveis;
- c. O tempo para realização do alvejamento via eletroquímica é cerca de 33% menor, aumentando assim, a produtividade;
- d. A técnica eletroquímica é considerada limpa já que não gera resíduos sólidos que necessitem ser posteriormente neutralizados ou tratados;
- e. O alvejamento eletroquímico gera maior confiabilidade de processo já que não depende de fornecedores de produtos químicos e nem fica sujeito à perda de cloro ativo nos reagentes, além de possuir baixo risco atrelado à variação do preço destes.

Por fim, entende-se que esse tipo de alvejamento é inovador e representa uma nova fase na indústria de processamento têxtil de substratos de algodão com mais aplicações e mercados a serem explorados. Com isso, o processo proposto pode ser viável para as indústrias têxteis que buscam a redução no consumo de água, reagentes, energia e tempo de processo.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- a. Analisar o efeito da luz UV na eletrogeração de H_2O_2 pois sabe-se que ela facilita o processo de homólise;
- b. Investigar o efeito da temperatura no processo;
- c. Testar outros materiais como eletrodos e/ou compósitos destes;
- d. Estudar a aplicação de diferentes potenciais nas configurações realizadas;

- e. Realizar o tingimento e/ou estamparia de cores escuras para o caso de eletrogeração de íons peróxido em presença de H_2O_2 comparando-o com o processo de pré-alveamento;
- f. Realizar o tingimento e/ou estamparia de cores claras para o tecido alvejado via oxidação de íons cloreto;
- g. Analisar a possibilidade de geração da quantidade necessária de agente oxidante no meio reacional para posterior imersão do tecido;
- h. Estudar a viabilidade do emprego de bioprocessos em conjunto;
- i. Realizar avaliação da presença de diferentes auxiliares, principalmente umectantes;
- j. Estudar a configuração eletroquímica de distância e área superficial dos eletrodos.
- k. Analisar o custo associado ao sistema eletroquímico para possível comparação com o processo convencional.

REFERÊNCIAS

ABDEL-HALIM, E. S.; AL-DEYAB, S. S. One-step bleaching process for cotton fabrics using activated hydrogen peroxide. **Carbohydrate Polymers**, v. 92, n. 2, p. 1844–1849, 2013. Elsevier BV.

ABDEL-HALIM, E.S. Simple and economic bleaching process for cotton fabric. **Carbohydrate Polymers**, [s.l.], v. 88, n. 4, p. 1233-1238, 2012. Elsevier BV.

ALCÂNTARA, M. R.; DALTIM, D. A Química do Processamento Têxtil. **Química Nova**, São Paulo, v. 19, n. 3, p. 320-330, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO. **MONITOR: SUPERINTENDÊNCIA DE POLÍTICAS INDUSTRIAIS E ECONÔMICAS**. 2019. Disponível em: <<https://www.abit.org.br/uploads/arquivos/monitor%20maio%20SITE.pdf>>. Acesso em: 21 nov. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO. **PERFIL DO SETOR: DADOS GERAIS DO SETOR REFERENTES A 2017**. 2017. Disponível em: <<https://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>>. Acesso em: 21 nov. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO. **RELATÓRIO SETORIAL DA INDÚSTRIA TÊXTIL BRASILEIRA**. 2015. São Paulo, v.15, pp 1-196, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO. **SC: SEGUNDO MAIOR PRODUTOR TÊXTIL DISCUTE COMPETITIVIDADE E INTERNACIONALIZAÇÃO**. 2017. Disponível em: <<https://www.abit.org.br/noticias/sc-segundo-maior-produtor-textil-discute-competitividade-e-internacionalizacao>>. Acesso em: 01 nov. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT**. NBR 10591: Materiais têxteis - Determinação da gramatura de superfícies têxteis. Rio de Janeiro, p. 1-4, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT**. NBR 12060: Materiais têxteis - Determinação do número de carreiras/cursos e colunas em tecidos de malha - Método de ensaio. Rio de Janeiro, p. 1-2, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT**. NBR 13000: Materiais têxteis - Determinação da hidrofiliabilidade de tecido – Método de ensaio. Rio de Janeiro, p. 1-2, 1993.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS EXPORTADORES DE ALGODÃO. **DESTINO DAS EXPORTAÇÕES BRASILEIRAS DE ALGODÃO POR PAÍS**. 2019. Disponível em: <<https://www.aneacotton.com.br/pt-br/servicos/estatisticas-exportacao-e-importacao/category/2019>>. Acesso em: 22 nov. 2019.

ASSOCIAÇÃO SUL MATO-GROSSENSE DOS PRODUTORES DE ALGODÃO. **HISTÓRICO ALGODÃO**. 2017. Disponível em: <<http://www.ampasul.org.br/var/www/html/ampasul.org.br/web/historico>>. Acesso em: 23 out. 2019.

BECHTOLD, T. et al. On-site formation of hypochlorite for indigo oxidation – Scale-up and full scale operation of an electrolyser for denim bleach processes. **Journal Of Applied Electrochemistry**, [s.l.], v. 36, n. 3, p. 287-293, 2005. Springer Science and Business Media LLC.

CARDOSO, Gustavo de Brito. **AVALIAÇÃO DE DIFERENTES TRATAMENTOS DE EFLUENTE TÊXTIL SIMULADO CONTENDO O AZOCORANTE PRETO DE DIRESUL**. 2010. 84 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Processos, Universidade Tiradentes, 2010, Aracajú.

CARVALHO, Vladimir Anderson Marinho de et al. **PESQUISA DA INFLUÊNCIA DO PH, TEMPERATURA E TEMPO NO ALVEJAMENTO COM HIPOCLORITO DE SÓDIO**. In: Simpósio Internacional de Engenharia Têxtil, 2000, Natal.

CERQUEIRA, A.; RUSSO, C.; MARQUES, M. R. C.. ELECTROFLOCCULATION FOR TEXTILE WASTEWATER TREATMENT. **Brazilian Journal Of Chemical Engineering**, Rio de Janeiro, v. 26, p. 659-668, 2009.

CHEN, Chi-wen et al. Electrochemical Generation of Ozone: Comparison of IrO₂ series with Pt/SnO₂ anode support in solid membrane cell. **International Journal Of Electrochemical Science**, [s.l.], p. 3351-3363, 2016. ESG.

CZARNETZKI, L.; JANSSEN, L.j.j.. Electrochemical oxidation of hypochlorite at platinum anodes. **Electrochimica Acta**, [s.l.], v. 33, n. 4, p. 561-566, 1988. Elsevier BV.

DAS, D.; PATRA, A. K.; JAKHAR, R.; SUNDER, S. Electrochemical bleaching of cotton. **Indian Journal Of Fibre & Textile Research**. Bhiwani, v. 41, n. 2, p. 217-220, 2016.

FEBRATEX GROUP. **SEGMENTOS TÊXTEIS: CONHEÇA OS 4 PRINCIPAIS DO MERCADO BRASILEIRO**. 2019. Disponível em: <<https://fcem.com.br/noticias/segmento-textil-os-4-principais-do-mercado-brasileiro/>>. Acesso em: 01 nov. 2019.

FOCKEDEY, e; VAN LIERDE, A. Coupling of anodic and cathodic reactions for phenol electro-oxidation using three-dimensional electrodes. **Water Research**, [s.l.], v. 36, n. 16, p. 4169-4175, 2002. Elsevier BV.

GUTIÉRREZ, M. C.; CRESPI, M. A review of electrochemical treatments for colour elimination. **Journal of the Society of Dyers and Colourists**, v. 115, n. 11, p. 342–345, 1999.

HAGE, Ronald; LIENKE, Achim. Applications of Transition-Metal Catalysts to Textile and Wood-Pulp Bleaching. **Angewandte Chemie International Edition**, [s.l.], v. 45, n. 2, p. 206-222, 2006.

KAPALKA, Agnieszka. **Reactivity of Electrogenerated Free Hydroxyl Radicals and Activation of Dioxygen on Boron-Doped Diamond Electrodes**. 2008. 171 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suíça, 2008.

KOKOT, S.; MARAHUSIN, L.; SCHWEINSBERG, P. A Morphological Study of Cotton Fabric Damage by Electro-Generated Oxygen. **Textile Research Journal**, [s.l.], v. 63, n. 6, p. 313-319, 1993. SAGE Publications.

LEAL, Tarcísio Wolff. **TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS POR PROCESSOS ADSORTIVOS VISANDO O REÚSO DA ÁGUA**. 2014. 127 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Química, Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

LEITE, Adilson Silva et al. Custos ecológicos e sustentabilidade em recursos hídricos na indústria têxtil. **Revista de Ciências Gerenciais**, [s.l.], v. 17, n. 26, p. 103-111, 2015. Editora e Distribuidora Educacional.

LEONORA, Andréa (Ed.). **No Setor Têxtil, Santa Catarina cresce mais do que São Paulo**. 2019. Disponível em: <<https://www.noticiasinfoco.com.br/artigo/no-setor-textil-santa-catarina-cresce-mais-do-que-sao-paulo>>. Acesso em: 25 out. 2019.

MANENTI, Diego Ricieri. **Tratamento de efluente têxtil utilizando o processo fotofenton**. 2011. 158 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Química, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2011.

MICHAUD, P-a. et al. Electrochemical oxidation of water on synthetic boron-doped diamond thin film anodes. **Journal Of Applied Electrochemistry**, [s.l.], v. 33, n. 2, p. 151-154, 2003. Springer Nature.

MORAIS, Crislânia Carla de Oliveira. **ELETRO-OXIDAÇÃO DE CORANTE FTALOCIANÍNICO UTILIZANDO ÂNODOS DIMENSIONALMENTE ESTÁVEIS**. 2016. 98 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Naturais, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Mossoró, 2016.

PALHARES, Dayana D'arc de Fátima. **PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO POR ELETRÓLISE ALCALINA DA ÁGUA E ENERGIA SOLAR**. 2016. 101 f. Monografia. (Especialização) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia Faculdade, Uberlândia, 2016.

PANIZZA, M et al. Electrochemical degradation of methylene blue. **Separation And Purification Technology**, [s.l.], v. 54, n. 3, p. 382-387, 2007. Elsevier BV.
PELEGRINO, Rosângela L. et al. Comparative Study of Commercial Oxide Electrodes Performance in Electrochemical Degradation of Organics in Aqueous Solutions. **Journal Of The Brazilian Chemical Society**, [s.l.], v. 13, n. 1, p. 60-65, 2002.

PICCOLI, Heiderose Herpich. **PROCESSO DE ALVEJAMENTO DE TECIDO DE MALHA DE ALGODÃO UTILIZANDO OZÔNIO COM BAIXO CONSUMO DE ÁGUA**. 2014. 139 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

RAJESHWAR, Krishnan; IBANEZ, Jorge G. **Environmental Electrochemistry: Fundamentals and Applications in Pollution Sensors and Abatement**. Academic Press, 776 p., 1997.

REIS, Crisleine Zottis dos. **BIOALVEJAMENTO ENZIMÁTICO DE TECIDOS DE MALHA DE ALGODÃO**. 2016. 172 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química e de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

ROCHA, Jéssica Horacina Bezerra. **Tecnologia eletroquímica como tratamento alternativo de efluentes têxteis sintéticos utilizando ânodos de platina e diamante**. 2011. 89 f. Monografia (Especialização) - Curso de Química, Programa de Pós-graduação em Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

SALA, Mireia; GUTIÉRREZ-BOUZÁN, M. Carmen. Electrochemical Techniques in Textile Processes and Wastewater Treatment. **International Journal Of Photoenergy**, [s.l.], v. 2012, p. 1-12, 2012. Hindawi Limited.

SANTOS, Vera Lucia Vogel Faustino dos; BARCELLOS, Ivonete Oliveira; PICCOLI, Heiderose Herpich. Pre-alvejamento de materiais têxteis com ozônio e avaliação de suas propriedades de superfície, físicas e tintoriais. **Matéria (Rio de Janeiro)**, [s.l.], v. 22, n. 1, p. 1-14, 2017.

SHORE, John; BALDWINSON, Terence M. **Colorants and auxiliaries: ORGANIC CHEMISTRY AND APPLICATION PROPERTIES**. 2. ed. Manchester,: Society Of Dyers And Colourists, 455 p., 2002.

SIAHROSTAMI, Samira et al. One- or Two-Electron Water Oxidation, Hydroxyl Radical, or H₂O₂ Evolution. **The Journal Of Physical Chemistry Letters**, [s.l.], v. 8, n. 6, p. 1157-1160, 2017. American Chemical Society (ACS).

SOUSA, Francisco Flávio et al. **Determinação de cloro em alvejantes por oxirredução: uma prática didática para o ensino de química analítica.** 2012. Disponível em: <file:///C:/Users/User/Downloads/7704-22026-1-PB.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2019.

STUCKI, S et al. Electrochemical waste water treatment using high overvoltage anodes Part II: Anode performance and applications. **Journal Of Applied Electrochemistry**, Baden, v. 21, p. 99-104, 1991.

TICIANELLI, Edson Antonio; GONZALEZ, Ernesto Rafael. **Eletroquímica: Princípios e Aplicações.** 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2013. 17 v.
VITERO, F.; MONLLOR, P.; BONET-ARACIL, M.; MORALLON, E.; QUIJADA, C. Electrobleaching of cotton fabrics in sodium chloride solution. **Vlakna a Textil**, v. 24, n. 2, p. 32–36, 2017.

WANG, Yun-hai; CHEN, Qing-yun. Anodic Materials for Electrocatalytic Ozone Generation. **International Journal Of Electrochemistry**, [s.l.], p. 1-7, 2013. Hindawi Limited.

ZHOU, C.; WU, Q. **Recent Development in Applications of Cellulose Nanocrystals for Advanced Polymer-Based Nanocomposites by Novel Fabrication Strategies.** In: NERALLA, S. (Comp.). **Nanocrystals: Synthesis, Characterization and Applications.** S. L.: Intech. Cap. 6, p. 103-120, 2012.