

Ciências Exatas e da Terra: Exploração e Qualificação de Diferentes Tecnologias

4

Francisco Odécio Sales
(Organizador)

Atena
Editora
Ano 2021

Ciências Exatas e da Terra: Exploração e Qualificação de Diferentes Tecnologias

4

Francisco Odécio Sales
(Organizador)

Atena
Editora
Ano 2021

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Luiza Alves Batista
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizador: Francisco Odécio Sales

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C569 Ciências exatas e da terra: exploração e qualificação de diferentes tecnologias 4 / Organizador Francisco Odécio Sales. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-713-0

DOI 10.22533/at.ed.130211301

1. Terra. 2. Ciências Exatas. I. Sales, Francisco Odécio (Organizador). II. Título.

CDD 551.1

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

COLORIMETRIA E ABSORBÂNCIA DE FIBRAS DE TiO_2 OU DE TiO_2 CONTENDO PERCURSORES DE TUNGSTÊNIO APLICANDO O SISTEMA $\text{CIE}L^*a^*b^*$

Data de aceite: 04/01/2021

Data de submissão: 06/11/2020

Luana Góes Soares da Silva

Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
Departamento de Engenharia de Materiais
Porto Alegre – RS

<http://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.do?id=K4227220Y>

Annelise Kopp Alves

Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
Departamento de Engenharia de Materiais
Porto Alegre – RS

<http://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.do?id=K4762707Y3>

RESUMO: A visão colorida do espectro visível depende da iluminação, fenômeno explicado por Isaac Newton, através da decomposição da luz nas cores do arco-íris. A percepção visual está ligada a existência de um “trinômio”, conhecido como observador, objeto e a fonte de luz. Materiais cerâmicos que absorvem no espectro visível, resultam numa mudança perceptível de cor que, são chamados “centros de cores”. Exemplos como: Al_2O_3 , TiO_2 e WO_3 , manifestam uma variedade de cores, resultantes das transições eletrônicas que ocorrem na rede cristalina destes materiais. A luz é composta por ondas eletromagnéticas em que cada comprimento de onda corresponde a uma cor distinta. Quando o feixe luminoso reflete sobre a superfície de um material, esse material absorve parte desta luz e reflete o restante. Os olhos humanos são

capazes de perceber aproximadamente 10.000 cores diferentes, em comprimentos de onda que variam entre 380 a 700 nanômetros (nm). Neste trabalho, a percepção visual das diferentes cores foi avaliada, quando da mistura de percursoros de tungstênio com o TiO_2 . As fibras de TiO_2 , TiO_2/WO_3 e de $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ foram obtidas por *electrospinning* e, caracterizadas por difração de raios X (DRX), microscopia eletrônica de varredura (MEV) e testes colorimétricos. Os resultados apontam que as propriedades ópticas foram influenciadas pela temperatura de calcinação que intensificaram a absorção de luz por estas fibras.

PALAVRAS-CHAVE: *Electrospinning*, Sistema $\text{CIE}L^*a^*b^*$, Centros de Cor, Propriedades Ópticas.

COLORIMETRY AND ABSORBANCE OF TiO_2 OR TiO_2 FIBERS CONTAINING TUNGSTEN PERCURSORS APPLYING THE $\text{CIE}L^*a^*b^*$ SYSTEM

ABSTRACT: The colored view of the visible spectrum depends on illumination, a phenomenon explained by Isaac Newton, through the decomposition of light into the colors of the rainbow. Visual perception is linked to the existence of a “trinomial”, known as an observer, object and light source. Ceramic materials that absorb in the visible spectrum, result in a noticeable change in color, which are called “color centers”. Examples such as: Al_2O_3 , TiO_2 and WO_3 , manifest a variety of colors, resulting from the electronic transitions that occur in the crystalline network of these materials. Light is composed of electromagnetic waves in which each wavelength corresponds to a different color. When the light

beam reflects on the surface of a material, that material absorbs part of this light and reflects the rest. Human eyes are capable of perceiving approximately 10,000 different colors, at wavelengths ranging from 380 to 700 nanometers (nm). In this work, the visual perception of the different colors was evaluated when mixing tungsten precursors with TiO_2 . The fibers of TiO_2 , TiO_2/WO_3 and $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ were obtained by *electrospinning* and, characterized by X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM) and colorimetric tests. The results show that the optical properties were influenced by the calcination temperature, which intensified the absorption of light by these fibers.

KEYWORDS: *Electrospinning*, CIELa*b* System, Color Centers, Optical Properties.

1 | INTRODUÇÃO

Foi no século XVII que a decomposição da luz nas cores do arco-íris foi descrita pela primeira vez por Isaac Newton. O fenômeno foi explicado através de um experimento que analisou a decomposição da luz por um prisma. O espalhamento das cores obtidas com este experimento ficou conhecido como espectro, e se estende numa faixa que vai desde a radiação vermelha até a radiação violeta (LOPES, 2009).

A cor é determinada pela disposição espectral de radiação emitida, transmitida ou refletida. A composição da luz é observada através do efeito da cor no objeto, por comprimentos de onda e pela maneira que o objeto altera a luz que irradia sobre ele. Essas alterações podem ser demonstradas por curvas de absorvância, transmitância ou de reflectância espectral (LOPES, 2009). É uma informação visual, gerada por um estímulo que é percebido pelo nosso olho e interpretado pelo nosso cérebro (BERTOLINI, 2010). Para que os olhos sejam capazes de perceber uma cor é fundamental presença de raios de luz. Os raios de luz refletidos nos olhos percorrem um longo trajeto até chegar na retina. Lá se localizam numa região central da retina chamada fóvea. O olho humano possui dois tipos de células que são responsáveis por nos fazer enxergar: os cones e os bastonetes. Os bastonetes são células que necessitam de pouca luz para serem sensibilizadas. Entretanto não conseguem formar imagens coloridas ou nítidas. É por isso que a noite ou em locais escuro é muito difícil se distinguir a cor. Já os cones são sensibilizados com uma grande quantidade de luz e geram imagens nítidas e coloridas (TIANO, 2009). Existem 3 tipos de cones: os azuis, os vermelhos, e os verdes. O cone azul é ativado em comprimentos de onda curtos, o cone verde é ativado em comprimentos de onda médio e o cone vermelho é ativado em comprimentos de onda longos. Assim, as cores supracitadas são os três tipos de coloração que os nossos olhos captam. Todas as outras cores que vemos são formadas a partir destas 3 cores (TIANO, 2009).

Dentro deste contexto, é impossível falar de colorimetria, sem mencionar a importância dos defeitos pontuais e dos solutos na determinação da cor dos materiais cerâmicos (KINGERY et al 1997). Materiais que absorvem o brilho no espectro visível, resultando em uma mudança perceptível na cor, geralmente são chamados de “centros

de cores” (KINGERY et al., 1997). Alguns exemplo interessantes de colorimetria, incluem as impurezas de Al_2O_3 que apresentam várias cores (rubis, safiras azuis, entre outras) e o semicondutor TiO_2 que conforme a temperatura de tratamento térmico ao qual é submetido apresenta um tipo de estrutura cristalina (anatase, brookita e rutilo) e coloração (preto, marrom-avermelhado, azul, entre outras) (CALLISTER, 2002). Essas diferenças de cores apresentadas por um mesmo material são baseadas: na formação de defeitos pontuais (vacâncias de oxigênio) e cristais individuais de coríndon, na temperatura de tratamento térmico ao qual o material é submetido, que por sua vez influenciará na desordem gerada na estrutura cristalina formada bem como na sua orientação cristalográfica, levando a manifestação de muitas propriedades elétricas, ópticas e químicas (KINGERY et al., 1997).

Sendo assim, como a percepção visual colorida é particular e no espectro visível depende da iluminação (VON BEZOLD, 1873), neste trabalho se avaliou como os olhos percebem as variações entre as diferentes cores em fibras de TiO_2 e de TiO_2 contendo precursores de tungstênio (H_2WO_4 e $Na_2WO_4 \cdot 2H_2O$) quando irradiadas por luz UVA-vis. Neste trabalho não foram considerados casos de daltonismo ou discromatopsia, protanopsia, deuteranopsia, tritanopsia e acromatopsia (TIANO, 2009). Os resultados se basearam na capacidade de olhos “normais” (sem anomalias) diferenciar as cores nas amostras.

2 I METODOLOGIA

2.1 Reagentes químicos

As fibras de TiO_2 , TiO_2/WO_3 e $TiO_2/Na_2WO_4 \cdot 2H_2O$ foram obtidas por *electrospinning*, através da preparação de soluções contendo os seguintes precursores: propóxido de titânio (Sigma-Aldrich), ácido acético glacial (Neon), polivinilpirrolidona (Sigma-Aldrich), álcool etílico anidro (Zeppelin) que foi usado como o solvente, ácido túngstico (Sigma-Aldrich) para obter os compostos (TiO_2/WO_3), di-hidrato de tungstato de sódio (Dynamics), peróxido de hidrogênio (Sigma-Aldrich) e o padrão TiO_2 -P25 (pó comercial Evonik).

2.2 Electrospinning

As fibras foram obtidas através do preparo de 3 soluções precursoras. A solução precursora de TiO_2 foi obtida através da mistura de 2,5 mL de propóxido de titânio (TIP), 2,0 mL de ácido acético glacial e 5,0 mL de uma solução alcoólica contendo 10% em peso de polivinilpirrolidona (PVP). A solução precursora de TiO_2/WO_3 foi preparada misturando os reagentes acima mencionados mais 0,10 g de H_2WO_4 . A solução precursora de $TiO_2/Na_2WO_4 \cdot 2H_2O$ foi preparada misturando os reagentes acima mencionados mais 0,10 g de $Na_2WO_4 \cdot 2H_2O$. Em seguida, uma seringa de plástico foi carregada com 5 mL da solução precursora que foi ligada a uma agulha de alimentação de aço inoxidável hipodérmica por uma fonte de alta tensão. A distância entre o tubo capilar e o coletor cilíndrico foi de 12 cm,

a tensão foi de 13,5 kV com um fluxo de 1,8 mL /h. O coletor cilíndrico foi recoberto com uma folha de alumínio para coletar as fibras produzidas a cada 30 minutos por um período de 4 horas. As fibras foram tratadas termicamente em forno elétrico (SANCHIS) a 650, 700, 750 ou 800 °C com patamar de 1 h e taxa de aquecimento de 1,4 C/min.

2.3 Caracterização

Utilizou-se um difratômetro PHILIPS com radiação CuK α , com tensão de 40 kV e 40 mA, equipado com o software X'PERT HighScore, para identificar as fases presentes nas fibras. Um microscópio eletrônico de varredura (MEV, JEOL 6060) equipado com EDS (espectroscopia de energia dispersiva), usado para avaliar a morfologia das fibras e identificar a presença de átomos de Na, W, Ti e O nas amostras, dependendo da composição das fibras. A correlação de Kubelka e Munk foi utilizada para fornecer os valores da energia de *band gap* das amostras. O equipamento utilizado foi um espectrofotômetro de feixe duplo UV-Vis- NIR (Cary 5000), com uma esfera integradora no modo de reflexão difusa de luz. A colorimetria foi determinada por um colorímetro, modelo Colorium 2 equipado com o *software i7*. O equipamento possui geometria óptica de 45°/0°, uma esfera integradora de d/8°, com uma área de medição de 13 mm. O iluminante utilizado foi D65, que corresponde a faixa espectral da luz do dia, e o observador utilizado foi o que corresponde a um campo de visão de 10° para visualizar o objeto. O equipamento registra as informações para definir o índice de cor com base no sistema CIE-La*b*. Neste sistema, a cor é determinada conforme os valores positivos ou negativos das coordenadas a* (vermelho e verde) e b* (amarelo e azul). O L* define a luminosidade variando entre 0 a 100%.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

As fibras apresentaram-se amorfas antes do tratamento térmico para todas as formulações. As fibras de TiO₂ (Figura 1a) tratadas até a temperatura de 700 °C apresentaram a presença majoritária da fase cristalina anatase (JCPDS 010782486) com o primeiro pico característico em aproximadamente $2\Theta = 25,271^\circ$ (PLESKOVA, 2016; CAMPOS et al., 2017). As fibras tratadas a partir de 750 °C formaram, além da fase anatase, a fase rutilo (JCPDS 01-077-0442), com o primeiro pico característico em aproximadamente $2\Theta = 27,294^\circ$, resultado da ocorrência de uma transição da fase anatase para a fase rutilo, após o aumento da temperatura de calcinação. A literatura relata que esta transição de fases do TiO₂ ocorre a partir de tratamento térmico entre 350 e 1175 °C, que pode variar dependendo do método de síntese utilizado para a obtenção das amostras (SANGEETA, 2014; THOMAZINI, 2015). Nas fibras de TiO₂/WO₃ tratadas até 650 °C foram identificadas as fases anatase (JCPDS 01-078-2486) e brookita (JCPDS 01-075-1582) para TiO₂ com picos característicos em aproximadamente $2\theta = 25,271^\circ$ e $25,425^\circ$, respectivamente. Para WO₃ a fase monoclinica (JCPDS 00-032-1393) apareceu em todas as temperaturas de tratamento térmico, com o primeiro pico característico a aproximadamente $2\Theta = 23^\circ$. As

fibras tratadas a 700 °C apresentaram a fase rutilo (JCPDS 01-077-0442), esta última com o primeiro pico característico a $2\theta = 27,294^\circ$ para TiO_2 além das fases anatase e brookita. As fibras de $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ tratadas à temperatura de 700 °C (Figura 1c) apresentaram a fase monoclinica para WO_3 (JCPDS 00-032-1393), a fase anatase (JCPDS 01-078-2486) e brookita (JCPDS 01-075-1582) para o TiO_2 . Para as fibras calcinadas a 750 °C foram identificadas as fases anatase e brookita para TiO_2 e tetragonal (JCPDS 00-002-0414) para WO_3 , com o primeiro pico a $2\theta = 37,604^\circ$. As fibras calcinadas a 800 °C apresentaram as fases anatase, brookita e rutilo (JCPDS 01-077-0442) para o TiO_2 e predominância da fase tetragonal para o WO_3 . O grupo $\text{Na}(\text{OH})$ apresentou a fase ortorrômbica (JCPDS 00-035-1009), identificada em todas as fibras contendo $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, tratadas entre 650 °C e 800 °C, com o primeiro pico em aproximadamente $2\theta = 16^\circ$.

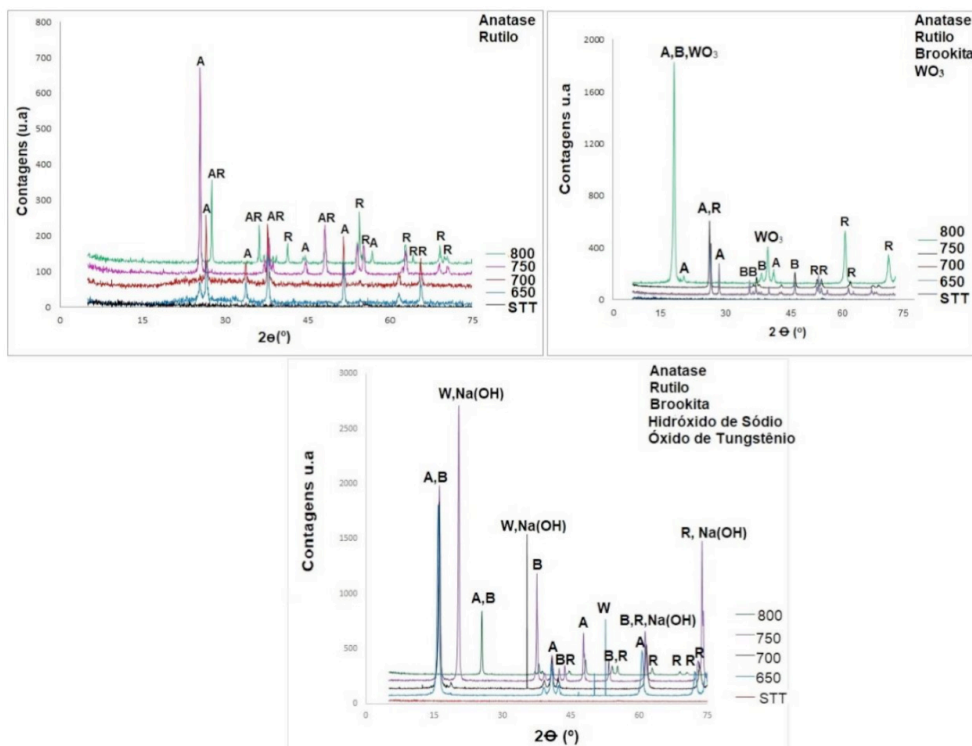


Figura 1. Difratoograma de raios X das fibras de (a) TiO_2 , (b) TiO_2/WO_3 e (c) $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ sintetizadas por *electrospinning*.

A Figura 2a-c mostra as imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) da superfície das amostras de TiO_2 , TiO_2/WO_3 e $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Em geral, as fibras de TiO_2 (Figura 2a) parecem não possuírem uma orientação preferencial, apresentando uma

microestrutura alongada e contínua. Essas observações também foram relatadas por (SHIM *et al.*, 2009; NGUYEN *et al.*, 2011) quando obtiveram fibras cerâmicas pelo processo de *electrospinning*. As fibras de TiO_2/WO_3 (Figura 2b) apresentam-se em forma de bastonete, provavelmente devido a presença da fase rutilo (NGUYEN *et al.*, 2011). Há relatos na literatura de que o TiO_2 nesta fase cristalina é capaz de formar grandes nanocristais em forma de bastonetes (NGUYEN *et al.*, 2011). As fibras aparentam possuir em sua estrutura vários grãos, com tamanhos maiores que os observados para as fibras de TiO_2 . A presença de WO_3 foi identificada por espectroscopia de energia dispersiva (EDS). Observando-se as amostras de $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Figura 2c) nota-se um aglomerado de fibras alongadas. A presença deste aglomerado de fibras pode estar associada ao fato de que as fibras são compostas por $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (GARCIA, 2016; PIKUDA, et al., 2017). A espectroscopia de energia dispersiva (EDS) indicou a existência de átomos de Na, W, Ti e O em todas as amostras de $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, proveniente do precursor ($\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) utilizados na síntese dessas fibras.

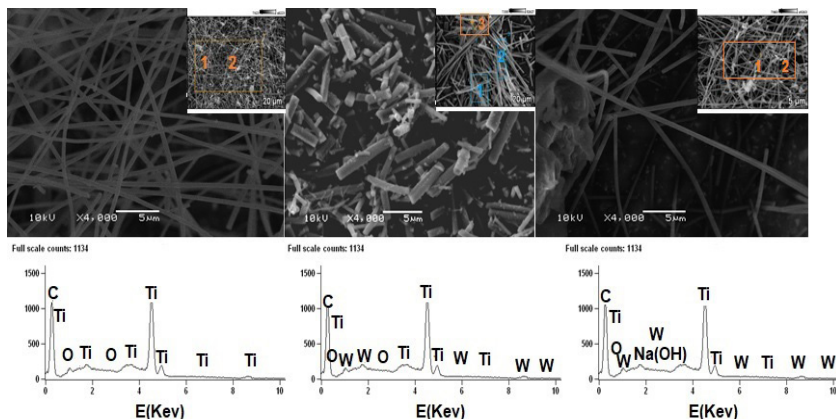


Figura 2. Imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) da superfície das amostras de (a) TiO_2 , (b) TiO_2/WO_3 e (c) $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

A Figura 3 a-c são fotografias das fibras de TiO_2 , TiO_2/WO_3 e de $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ após a síntese por *electrospinning*. Pelas imagens é possível perceber que todas as fibras sintetizadas apresentaram a coloração branca. Como não houve variação na cor apresentada pelas fibras, para fins de explanação foi escolhida uma amostra de cada precursor de TiO_2 , TiO_2/WO_3 e de $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ tratada termicamente a 800°C .

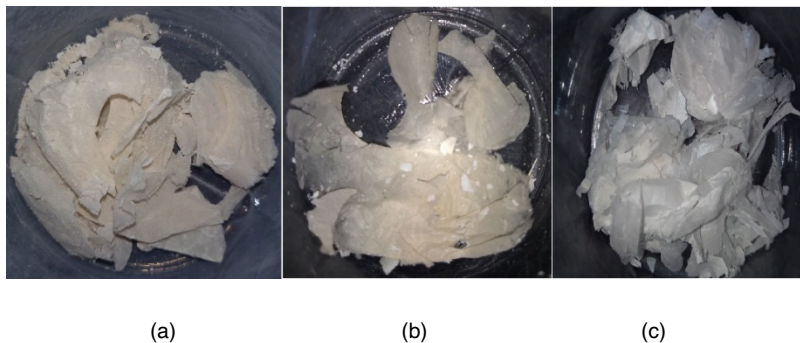


Figura 3. Fotografia das fibras de (a) TiO_2 , (b) TiO_2/WO_3 e de (c) $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ sintetizadas por *electrospinning* tratadas termicamente a 800°C , antes do teste colorimétrico.

A Figura 4a-c mostra a coloração das soluções de TiO_2 , TiO_2/WO_3 e de $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ antes da síntese das fibras por *electrospinning*. A solução de TiO_2 é amarelo-claro. A solução de TiO_2/WO_3 é amarelo. A solução de $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ é transparente.

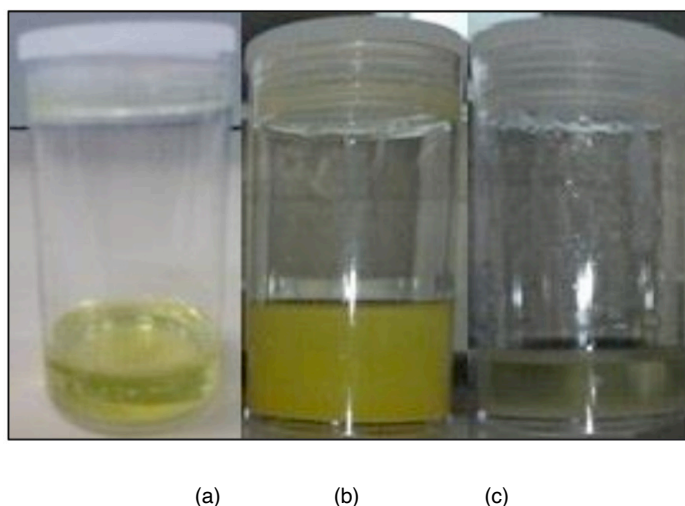


Figura 4. Cores transmitidas pelas soluções de (a) TiO_2 , (b) TiO_2/WO_3 e de (c) $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

A solução de TiO_2 é amarelo-claro (Figura 4a) e absorve preferencialmente o azul do espectro da luz branca. Sendo a cor transmitida a complementar ao azul, o amarelo (Figura 5a). A solução de TiO_2/WO_3 é amarelo (Figura 4b) e absorve preferencialmente a cor azul do espectro da luz branca. Sendo a cor transmitida a complementar ao azul, o amarelo (Figura 5b). A solução de $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Figura 4c) é transparente. No caso de um material transparente, a cor do filtro é a cor vista quando a luz é refletida ou transmitida

por ele. Todas as cores não vistas no filtro ou que não passam por ele são absorvidas. O colorímetro possui três filtros, de cores: azul, verde e vermelho. Com base nisto, a cor absorvida pelas fibras de $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ foi o azul, transmitindo a cor complementar a esta, o amarelo (Figura 5c).

A diferença na tonalidade de amarelo observada na cor transmitida pelas fibras de TiO_2 e de TiO_2/WO_3 estão associadas com a matiz, saturação e brilho. Por exemplo as fibras de TiO_2/WO_3 transmitiram a cor amarelo-esverdeado, possuem as cores amarelo e verde. O amarelo é a cor pura sem a presença do branco ou do preto. A tonalidade verde surge através da presença de uma porção do branco no amarelo. Sendo o amarelo-esverdeado uma matiz do amarelo (THOMAZINI, 2015). O brilho se refere a quantidade de luz percebida, ou seja, representa o claro ou escuro. Conforme se agrega preto a uma cor, tal obscuridade é intensificada. E a claridade ocorre conforme se agrega branco a uma cor, intensificando a claridade da mesma (THOMAZINI, 2015).

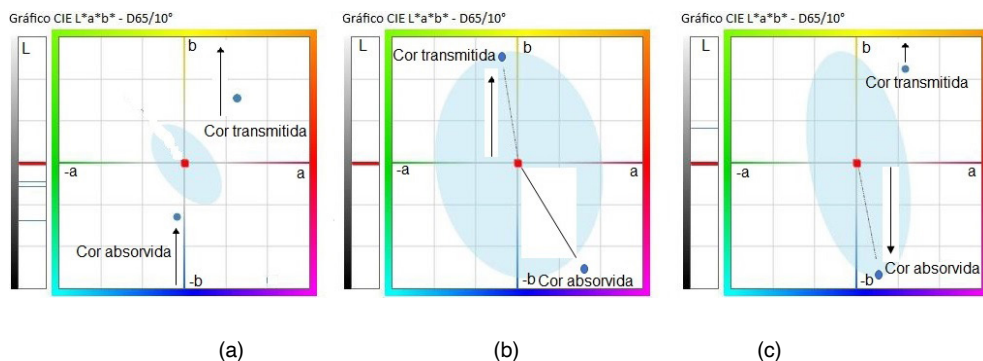


Figura 5. Gráficos CIE $L^*a^*b^*$ das fibras de (a) TiO_2 , (b) TiO_2/WO_3 e de (c) $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Em análises colorimétricas o máximo de absorbância ocorre na região da coloração complementar. Os resultados foram obtidos com o auxílio do *software i7* que registra várias informações para cada análise, sendo as mais úteis para definir a região de máxima absorbância, as do sistema Cie-La*b*. As fibras de TiO_2 tiveram máxima absorbância de luz na região da cor azul-escuro influência dos valores positivos de a^* (cor vermelho) e negativos de b^* (cor azul). Já se esperava este resultado, pois a cor da solução de TiO_2 é amarelo-claro (Figura 4a), que é a cor complementar ao azul (Figura 5a). Já as fibras de TiO_2/WO_3 tiveram máxima absorbância de luz na região da cor azul-claro, influência dos valores negativos de a^* (cor verde) e negativos de b^* (cor azul). Já se esperava este resultado, pois a solução de TiO_2/WO_3 é amarela (Figura 4b), que é a cor complementar ao azul. E por fim, as fibras de $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ tiveram máxima transmitância de luz na região da cor amarelo-alaranjado, influência dos valores positivos de a^* (cor vermelho) e b^* (cor amarelo). Este resultado já era esperado pois, a solução de $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Figura

4c) é transparente. No caso de um material transparente todas as cores não vistas no filtro ou que não passam por ele são absorvidas. Com base nisto, a cor absorvida pelas fibras de $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ foi o azul, que é a cor complementar ao amarelo.

A capacidade dos olhos humanos para diferenciar as alterações de cor entre as fibras foi determinada através dos valores obtidos pela associação da L^* (luminosidade Tabela 2), ΔE (diferença de cor Tabela 2) e a (Norma DIN 6174, 1979, Tabela 1).

A capacidade dos olhos humanos para diferenciar as alterações de cor entre as fibras foi determinada através dos valores obtidos pela associação da L^* (luminescência Tabela 2), ΔE (diferença de cor Tabela 2) e a (Norma DIN 6174, 1979, Tabela 1).

Diferença de cor (ΔE^*ab)	Classificação
0,0 – 0,2	Imperceptível
0,2 – 0,5	Muito pequena
0,5 – 1,5	Pequena
1,5 – 3,0	Distinguível
3,0 – 6,0	Facilmente distinguível
Maior que 6,0	Muito grande

Tabela 1. Norma DIN 6174.

A Tabela 2 apresenta os valores de luminosidade (L^*), ou seja, a cor percebida pelos olhos, durante o período de irradiação sobre as fibras de TiO_2 , TiO_2/WO_3 e de $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Os olhos perceberam cores escuras para as fibras de TiO_2 e de $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ devido ao valor de $L < 50$ e cores claras para as fibras de TiO_2/WO_3 , devido ao valor de $L > 50$. Esta informação visual gerada e percebida pelos olhos apresentou-se distinguível para as fibras de TiO_2 e facilmente distinguível para as fibras de TiO_2/WO_3 e de $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Estes resultados se basearam nos valores da diferença de cor (ΔE) apresentados na Tabela 2. Os olhos humanos não conseguem distinguir diferenças de cor menores de $\Delta E = 1$.

Amostras	%L (Luminosidade)	Diferença de cor (ΔE)	Percepção dos olhos
Fibras de TiO_2	32,15	2,32	Distinguível
Fibras de TiO_2/WO_3	83,24	3,53	Facilmente Distinguível
Fibras de $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	42,24	3,79	Facilmente Distinguível

Tabela 2. Valores de luminescência, diferenças de cor e capacidade de percepção da cor pelo olho humano.

Os valores da *band gap* das fibras de TiO_2 , TiO_2/WO_3 e de $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ são apresentados na Tabela 3. Estes valores são importantes pois, a distinção entre óxidos semicondutores ou isoladores é realizada com base na ocupação das bandas de energia. A Tabela 3 mostra uma redução no *band gap* das fibras conforme aumenta a temperatura de calcinação. Este aumento na temperatura favorece: as propriedades ópticas do material, os efeitos de superfície sobre a distribuição de níveis eletrônicos e também permite que as fibras de TiO_2/WO_3 e de $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ tenham uma inibição da recombinação das cargas do par elétron/lacuna permitindo a transferência de cargas entre os dois óxidos (TiO_2 e WO_3), aumentando a capacidade de absorção de luz (SOARES, 2018). Em semicondutores intrínsecos, como no caso das fibras sintetizadas neste trabalho, a energia de *band gap* (E_g) é caracterizada por uma banda de valência completamente preenchida e uma banda de condução completamente vazia. É através da excitação térmica ou óptica dos elétrons que ocorre a formação do *gap* de energia na banda de valência, e os elétrons são promovidos para a banda de condução. Com o aumento da temperatura têm-se a redução de *band gap* das fibras além da geração de desordem na estrutura eletrônica das mesmas, favorecendo as suas propriedades ópticas (KINGERY et al., 1997).

Amostras	Valores de <i>band gap</i> (eV)
Fibras de TiO_2 -650°C	3,24
Fibras de TiO_2 -700°C	2,93
Fibras de TiO_2 -750°C	2,85
Fibras de TiO_2 -800°C	2,82
Fibras de TiO_2/WO_3 ,650°C	2,58
Fibras de TiO_2/WO_3 ,700°C	2,57
Fibras de TiO_2/WO_3 ,750°C	2,56
Fibras de TiO_2/WO_3 ,800°C	2,54
Fibras de $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ -650°C	2,52
Fibras de $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ -700°C	2,32
Fibras de $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ -750°C	2,27
Fibras de $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ -800°C	2,24
Pò comercial TiO_2 Evonik	3,2

Tabela 3. Valores da *band gap* das fibras sintetizadas por *electrospinning*.

4 | CONCLUSÕES

A visão colorida do espectro visível depende da iluminação, que define que ao aproximar-se do nascer do sol nossos cones ainda não estão totalmente ativados, então nossa visão de cores limita-se ao azul verde e amarelo. Com mais iluminação temos o

acionamento total da fôvea e todo o espectro pode ser visto. O aumento da temperatura de calcinação provocou uma desordem na estrutura eletrônica das amostras que diminuiu o *band gap* das fibras e favoreceu muitas de suas propriedades ópticas. E isto pode ser observado nas fibras sintetizadas, pois conforme aumentou a temperatura de tratamento térmico aos quais as fibras foram submetidas, ocorre uma redução nos valores de *band gap* das amostras. Isto é, o aumento da excitação térmica através da elevação da temperatura promoveu os elétrons da banda de valência para a banda de condução. As propriedades ópticas foram influenciadas pela temperatura de calcinação que provocou uma desordem na estrutura eletrônica das fibras, intensificando a absorção de luz pelas mesmas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), do CNPq e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS

- BERTOLINI, C. **Sistema para medição de cores utilizando espectrofotômetro**, estado de Santa Catarina, Brasil, 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Centro de Ciências Exatas e Naturais Curso de Ciência da Computação – Bacharelado) - FURB, Universidade Regional de Blumenau, 2010.
- GARCIA, A. P. **Síntese e caracterização de nanoestruturas de TiO₂ de alta eficiência fotocatalítica obtidas pelo método dos peróxidos oxidantes combinado com tratamento solvotermal assistido por micro-ondas**, estado do Rio Grande do Sul, Brasil. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia - Ciência e Tecnologia dos Materiais) - UFRGS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.
- CALLISTER, J. W. D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.
- CAMPOS, F. A.; AGUIAR, A. C. R.; ANDRADE, R. D A.; MEDEIROS, V. S.; BRANQUINHO, A. C.; SILVA, F. C. B.; CHAVES, A. R. **Degradação fotocatalítica de atrazina na presença de catalisadores nanoparticulados**. Química Nova, v.40, p. 36-41, 2017.
- LOPES, L. C. **Controle metrológico da cor aplicado à estamperia digital de materiais têxteis**, estado do Rio de Janeiro, Brasil. 2009. Dissertação (Mestrado em Metrologia para a Qualidade e Inovação) – PUCRJ, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2009.
- MING CHIANG, Y., DUNBAR BIRNIEIII, P., DAVID KINGERY, W. **Physical ceramics: principles for ceramic Science and engineering**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1997.
- NGUYEN, T. A.; JUN, T. S.; RASHID, M.; KIM, Y. S. **Synthesis of mesoporous tungsten oxide nanofibers using the electrospinning method**. Materials Letters, v. 65, p. 2823–2825, 2011.

PIKUDA, O.; GARLISI, C.; SCANDURA, G.; PALMISANO, G. **Micro-mesoporous N-doped brookite-rutile TiO₂ as efficient catalysts for water remediation under UV-free visible LED radiation.** Journal of Catalysis, v. 346, p. 109–116, 2017.

PLESKOVA, S. N.; GOLUBEVA, I. S.; VEREVKIN, Y. K. **Bactericidal activity of titanium dioxide ultraviolet-induced films.** Materials Science and Engineering, v. 59, p. 807–817, 2016.

SANGEETA, A.; DEBASISH, S. **High efficient electrochromic WO₃ nanofibers.** Electrochimica Acta, v. 138, p. 115–123, 2014.

SHIM, H. S.; KIM, W. J.; SUNG, Y. E.; KIM, W. B. **Electrochromic properties of tungsten oxide nanowires fabricated by electrospinning method.** Solar Energy Materials and Solar Cells, v. 93, p. 2062-2068, 2009.

SOARES, L. G.; ALVES, A. K. **Analysis of colorimetry using the CIE-L*a*b* system and the photocatalytic activity of photochromic films.** Journal Materials Research, v. 105, p. 318-321, 2018.

THOMAZINI, E. F. **Síntese e caracterização de óxidos termocrômicos para aplicação em dispositivos optoeletrônicos**, estado do Paraná, Brasil. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia de Materiais-Departamento Acadêmico de Engenharia de Materiais) – UTFPR, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2015.

TIANO, P. C. M. **Cor e colorimetria: minicursos CRQ-IV**, estado de São Paulo, Brasil. 2009.

VON BEZOLD, J. F. W. **Ueber das gesetz der farbenmischung und die physiologischen grundfarben.** Annalen der Physik, v. 226, p. 221-247, 1873.