RECINTER - REVISTA CIENTÍFICA INTERDISCIPLINAR
ISSN 2966-3911

CARACTERIZAÇÃO E EFETIVIDADE DO CORANTE NATURAL (BIXA ORELLANA) NA ESPECTROSCOPIA DE LENTE TÉRMICA (ELT)

CHARACTERIZATION AND EFFECTIVENESS OF NATURAL DYE (BIXA ORELLANA) IN THERMAL LENS SPECTROSCOPY (TLS)

CARACTERIZACIÓN Y EFECTIVIDAD DEL COLORANTE NATURAL (BIXA ORELLANA) EN LA ESPECTROSCOPÍA DE LENTE TÉRMICA (ELT)

Paulo Afonso Furtado Filho[1], Josélia Borges de Moura Furtado[2], Heurison de Sousa e Silva[3]

e1112
https://doi.org/10.47820/recinter21.v1i1.12

PUBLICADO: 12/2024

RESUMO

A Espectroscopia de Lente Térmica é uma técnica com elevada sensibilidade, sendo capaz de detectar pequenas absorções em materiais, além de fornecer informações sobre as propriedades termo-ópticas. Essa técnica é versátil. Com ela, é possível medir a difusividade térmica e investigar as propriedades de transporte térmico de materiais transparentes, sólidos, líquidos, materiais orgânicos, corantes e de vários outros materiais. Neste trabalho, a técnica de Lente Térmica foi utilizada com o objetivo de estudar as propriedades termo-ópticas das soluções de extrato do corante de urucum (Bixa Orellana), uma substância amplamente utilizada na indústria alimentícia e em fármacos, devido às suas interessantes propriedades. As amostras foram preparadas em diferentes concentrações em água destilada e submetidas às análises de absorbância utilizando a espectroscopia na região do ultravioleta. Observou-se que a presença do urucum influenciou na absorção crescente. Na aplicação da técnica de Espectroscopia de Lente Térmica com feixe duplo em modo descasado, diferente da água destilada pura, a solução matriz e as diluições apresentaram sinal de formação de Lente Térmica. Observou-se que a presença de urucum intensificou a formação do sinal. Com esses resultados, considera-se que o extrato de urucum foi o agente predominante para o efeito de lente térmica, observando-se um aumento do sinal à medida que as concentrações das soluções aumentavam.

PALAVRAS-CHAVE: Difusividade. Lente Térmica. Urucum.

ABSTRACT

Thermal Lensing Spectroscopy is a technique with high sensitivity, being able to detect small absorptions in materials, in addition to providing information about thermo-optical properties. This technique is versatile. With it, it is possible to measure thermal diffusivity and investigate the thermal transport properties of transparent materials, solids, liquids, organic materials, dyes and various other materials. In this work, the Thermal Lens technique was used with the objective of studying the thermo-optical properties of annatto dye extract solutions (Bixa Orellana), a substance widely used in the food industry and in pharmaceuticals, due to its interesting properties. The samples were prepared in different concentrations in distilled water and submitted to absorbance analysis using spectroscopy in the ultraviolet region. It was observed that the presence of annatto influenced the increasing absorption. In the application of the Thermal Lensing Spectroscopy technique with double beam in unmatched mode, different from pure distilled water, the matrix solution and the dilutions showed signs of Thermal Lens formation. It was observed that the presence of annatto intensified the

[1] Graduação em Bacharelado em Física pela Universidade Federal do Piauí e Mestrado pelo Programa de Pós-Graduação em Física da Universidade Federal do Piauí - UFPI, com área de concentração em Física da Matéria Condensada, atuando no seguinte tema: Óptica não-Linear. Professor Adjunto da Universidade Federal do Piauí no Campus Ministro Petrônio Portela, cidade de Teresina.
[2] Graduação em Licenciatura plena em Química, Mestrado (com área de concentração em Físico-Química) e Doutorado (com área de concentração em Química Inorgânica) em Química, ambos, pelo Programa de Pós - Graduação em Química da Universidade Federal do Piauí - UFPI. Professora Adjunta da Universidade Federal do Piauí, no Campus Ministro Petrônio Portela, lotada no Departamento de Métodos e Técnicas de Ensino (DMTE/CCE).
[3] Universidade Federal do Piauí - UFPI.

RECINTER - REVISTA CIENTÍFICA INTERDISCIPLINAR
ISSN 2966-3911

formation of the signal. With these results, it is considered that the annatto extract was the predominant agent for the thermal lens effect, observing an increase in the signal as the concentrations of the solutions increased.

***KEYWORDS**: Diffusivity. Thermal Lens. Annatto.*

RESUMEN
La Espectroscopia de Lente Térmica es una técnica con alta sensibilidad, siendo capaz de detectar pequeñas absorciones en los materiales, además de proporcionar información sobre las propiedades termo-ópticas. Esta técnica es versátil. Con él, es posible medir la difusividad térmica e investigar las propiedades de transporte térmico de materiales transparentes, sólidos, líquidos, materiales orgánicos, tintes y otros materiales. En este trabajo se utilizó la técnica de Lente Térmica con el objetivo de estudiar las propiedades termo-ópticas de las soluciones de extracto de colorante de achiote (Bixa Orellana), sustancia ampliamente utilizada en la industria alimentaria y en farmacéutica, debido a sus interesantes propiedades. Las muestras se prepararon en diferentes concentraciones en agua destilada y se sometieron a análisis de absorbancia mediante espectroscopía en la región ultravioleta. Se observó que la presencia de achiote influyó en el aumento de la absorción. En la aplicación de la técnica de Espectroscopía de Lente Térmica con doble haz en modo inigualable, diferente del agua destilada pura, la solución de matriz y las diluciones mostraron signos de formación de Lente Térmica. Se observó que la presencia de achiote intensificaba la formación de la señal. Con estos resultados, se considera que el extracto de achiote fue el agente predominante para el efecto lente térmico, observándose un aumento en la señal a medida que aumentaban las concentraciones de las soluciones.

***PALABRAS CLAVE:** Difusividad. Lente térmica. Achiote.*

1. INTRODUÇÃO

A Espectroscopia de Lente Térmica é uma técnica que permite medir as propriedades termo-ópticas dos materiais, como por exemplo, absorção óptica, difusividade térmica, e eficiência quântica de fluorescência [1-3]. As vantagens de se utilizar esta técnica é que ela apresenta caráter não destrutivo, requer um pequeno tempo de análise, além de dar valores precisos de difusividade térmica, mesmo em temperatura ambiente [4-9]. O princípio básico de funcionamento de Espectroscopia de Lente Térmica está relacionado à variação dos parâmetros termodinâmicos, ou seja, uma vez absorvida a energia luminosa, esta é convertida em calor, o que gera um gradiente de temperatura perpendicular à propagação do feixe. Dessa maneira, é possível realizar uma análise indireta da absorção óptica, isso porque, mede-se o efeito que a absorção óptica exerce sobre a amostra. Através dessa medida indireta, a Espectroscopia de Lente Térmica torna-se mais sensível que a técnica convencional de transmissão [4,6,10-12].

Vários autores utilizaram esta técnica para diferentes tipos de pesquisas. Falcão *et al*., [4] mediram a difusividade térmica de materiais policristalinos, cristalinos, vítreos, poliméricos e cristais líquidos. Rodriguez *et al*., [12] realizaram medidas em sistemas de nano partículas de prata suspensa em solução aquosa de corante azul brilhante. Lescano *et al*., [13] detectaram Cr (VI) em água utilizando um feixe duplo colinear em modo descasado. Mazza *et al*., [14] mediram bandas de proteínas manchadas com prata em géis de poliacrilamida com um sensor duplo em configuração colinear padrão e Raj *et al*., [9] realizam análises temporais de sinal de tente térmica em amostra de

RECINTER - REVISTA CIENTÍFICA INTERDISCIPLINAR
ISSN 2966-3911

óleo de coco. A técnica de lente térmica mostra-se bastante eficiente, investigando propriedades de materiais diversos como: sólidos, líquidos, corantes e outros.

Dentre a classe de compostos denominados corantes, o corante natural, denominado urucum, uma planta de origem da América tropical, apresenta propriedades importantes, dentre elas: antioxidante e antimicrobiana, além da utilização na produção de corantes alimentícios, produtos cosméticos e medicinais [15-22].

O pericarpo, que é a camada que envolve as sementes, é o local em que podem ser encontrados os pigmentos, e são retirados três principais tipos de extratos: a *bixina* (extrato lipossolúvel), a *norbixina* (extrato alcalino aquoso) e o norbixato (extrato salino) [23,24]. Desse pigmento, 80% são constituídos de *bixina* [22,25,26,27]. Esses principais componentes presentes no urucum apresentam uma composição química constituída de ligações duplas conjugadas [18,23,25,27]. Isso o torna um material interessante para ser analisado por Espectroscopia de Lente Térmica.

As técnicas que são utilizadas para extração do pigmento do urucuzeiro, como por exemplo, extração com acetona à temperatura ambiente, acetona em *soxhlet* e em hidróxido de sódio, devem ser levadas em consideração, em vista da possibilidade de ocorrência de degradação por luz e por calor excessivo durante a extração [24,28].

O objetivo deste trabalho é fazer a extração do corante de urucum e sua posterior caracterização por diferentes técnicas, entre elas, a Espectroscopia na região do ultravioleta, a fim de fazer o acompanhamento das bandas de absorção das soluções em diferentes concentrações e a técnica de Espectroscopia de Lente Térmica, para a determinação dos parâmetros termo-ópticos. O estudo comparativo foi realizado com o objetivo de estudar o efeito da concentração do corante no solvente utilizado para a melhor formação do sinal de tente térmica.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

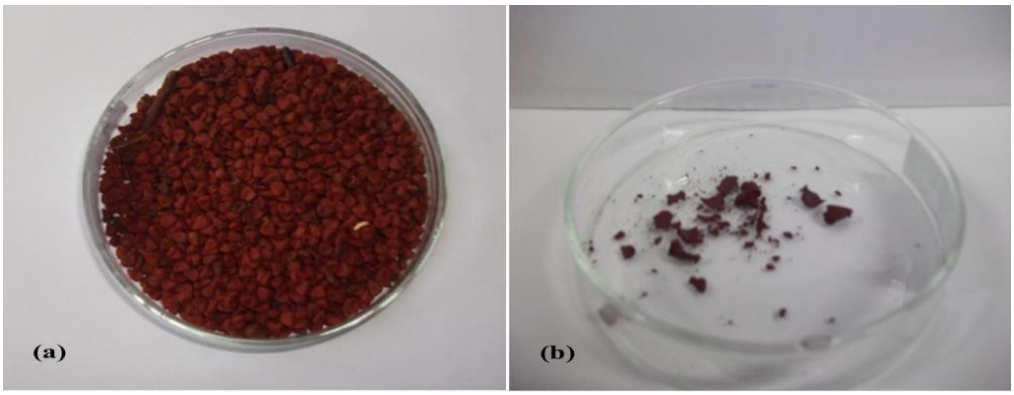
2.1. Extração do corante da semente de urucum

Para a extração do corante a partir da semente de urucum, foi utilizado o hidróxido de sódio, NaOH (IMPEX, Reagentes Analíticos) como solvente usado no processo de extração dos compostos presentes nas sementes. Para a extração do corante foi preparada uma solução de NaOH 5%. Após o preparo da solução, foi adicionado 80 mL em 20 g de sementes de urucum (Figura 1(a)). A mistura ficou sob agitação, sem aquecimento, por 5 minutos. Após esse intervalo de tempo, a mistura sofreu um processo de filtração para a remoção das sementes.

Após a filtração, é necessário restaurar a forma protonada da *bixina*. Para isso, o pH foi reduzido de 11 para 4 pela adição gradual de ácido clorídrico, HCl 37% (IMPEX, Reagentes Analíticos). O precipitado resultante é o corante extraído.

RECINTER - REVISTA CIENTÍFICA INTERDISCIPLINAR
ISSN 2966-3911

Figura 1. Urucum (a) Sementes *in natura* e (b) Corante extraído a partir das sementes



Além disso, a mistura com o precipitado passou por outro processo de filtração com adição de água destilada, até atingir pH neutro. Isso é necessário para a remoção do ácido e para reter as partículas precipitadas da mistura. O processo de secagem do corante foi realizado em estufa com a temperatura de 70°C por 30 minutos. Desta maneira, foi obtido o corante em forma de pó (Figura 1(b)) para a preparação das soluções em diferentes concentrações.

Para o preparo das soluções do extrato de urucum foi utilizada água destilada como solvente. Foi preparada uma solução de concentração 0,1760 mg/mL. A partir da solução preparada, como mostra a Tabela 1, foram obtidas as soluções diluídas.

Tabela 1. Resumo das concentrações das soluções de urucum em água destilada

AMOSTRAS	CONCENTRAÇÕES (mg/mL)
Amostra 1	0,0528
Amostra 2	0,0880
Amostra 3	0,1760

2.2. Caracterização por Espectroscopia na região do ultravioleta

A caracterização óptica das amostras foi realizada por espectroscopia na região do ultravioleta, usando um equipamento de marca SHIMADZU, modelo UV-3600 Spectrophotometer. Esta técnica foi utilizada para fazer o acompanhamento das bandas de absorção das soluções em diferentes concentrações. As análises foram realizadas com comprimento de onda no intervalo de 290 a 900 nm, com resolução máxima de 0,1 nm.

2.3. Caracterização por Espectroscopia de Lente Térmica

A técnica de Espectroscopia de Lente Térmica foi realizada com feixe duplo em modo descasado [4]. O laser de excitação utilizado foi um laser de argônio refrigerado a ar da marca Laser Physics com comprimento de onda de 488 nm com potência de 3,7 mW, e o laser de prova utilizado

RECINTER - REVISTA CIENTÍFICA INTERDISCIPLINAR
ISSN 2966-3911

foi um laser de He-Ne da marca Coherent com comprimento de onda de 632,8 nm e potência de 30 μW. Com o ajuste da equação 1, foi possível determinar o parâmetro θ e t_c. A equação 2 foi usada para encontrar o deslocamento de fase θ. A partir das equações 3 e 4 foi possível determinar os parâmetros m e V, cujos valores são 96,7 e 2,57, respectivamente. Para o cálculo da difusividade térmica foi utilizada a equação 5, sendo $\omega_e = 1{,}75 \times 10^{-3}$ cm. É de grande importância para o efeito de lente térmica, que o laser de prova seja de baixa potência, para impedir o efeito de lente térmica adicional devido à sua absorção e também do feixe de excitação [29].

$$I(t) = I(0)\left[1 - \frac{\theta}{2}\tan^{-1}\left(\frac{2mV}{[(1+2m)^2+V^2](t_c/2t)+1+2m+V^2}\right)\right]^2 \quad (1)$$

Onde, *I(t)* e *I(0)* são, respectivamente, as intensidades final e inicial do centro do feixe, e t_c é o tempo característico.

$$\theta = -\frac{P_e A_e l}{k\lambda_p}\left(\frac{dn}{dT}\right) \quad (2)$$

Onde, θ é o deslocamento de fase, P_e é a potência do feixe de excitação, A_e é o coeficiente de absorção da amostra, l é a espessura da amostra, k é a condutividade térmica, λ_p é o comprimento de onda do feixe de prova, dn/dT é o coeficiente do índice de refração.

$$m = \left(\frac{\omega_{1p}}{\omega_{0_e}}\right)^2 \quad (3)$$

Onde, ω_{1p} e ω_e são, respectivamente, os raios do feixe de prova e do feixe de excitação.

$$V = \frac{Z_1}{Z_c} \quad \text{quando} \quad Z_c \ll Z_2 \quad (4)$$

Onde, Z_1 é a distância da amostra à cintura do feixe de prova, igual a 5,6 cm, Z_c é a distância confocal do feixe de prova, igual a 2,6 cm, e Z_2 é a distância da amostra ao plano do detector, igual a 102,3 cm.

$$D = \frac{\omega_e^2}{4t_c} \quad (5)$$

Onde, D é a difusividade térmica.

RECINTER - REVISTA CIENTÍFICA INTERDISCIPLINAR
ISSN 2966-3911

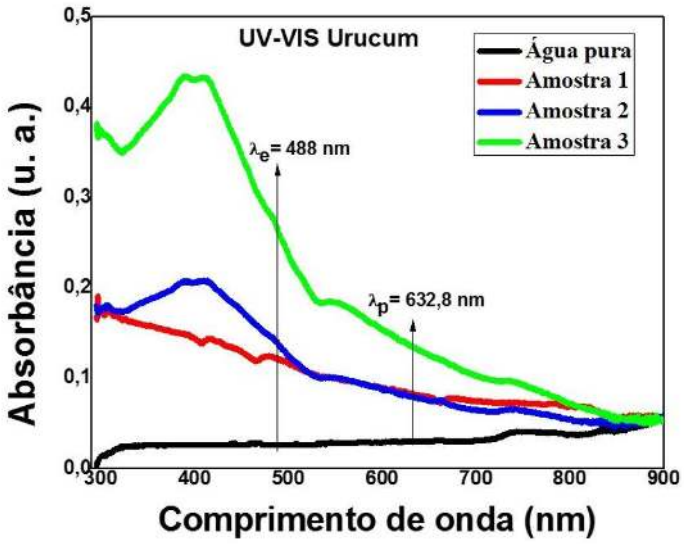
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caraterização por Espectroscopia na região do ultravioleta

A Figura 2 mostra os resultados de absorbância das soluções de urucum em diferentes concentrações. Também é possível ver o espectro da água, indicando que o solvente não absorve nos comprimentos de onda dos lasers utilizados. Como pode ser observado, todas as concentrações apresentam alguma absorbância na região estudada, inclusive a 0,0528 mg/mL que foi a solução com menor quantidade de urucum adicionado.

Para maiores valores de concentração, foi observado um aumento na absorção. Isso indica a presença de *bixina*, componente majoritário, em que estão presentes elétrons π em um sistema conjugado, conferindo alta absortividade no intervalo de 300-500 nm, apresentando colorações que variam do amarelo ao laranja-avermelhado [30-36]. Todas as amostras apresentaram um máximo de absorção em 399,2 nm. Isso mostra que o urucum influenciou no processo de absorção. Na Figura 2 também estão indicadas as linhas dos feixes de excitação (488 nm) e de prova (632,8 nm).

Figura 2**.** Espectro de absorção do urucum em água destilada em diferentes concentrações



3.2. Caracterização por Espectroscopia de Lente Térmica

A Figura 3 mostra o sinal de Lente Térmica para diferentes valores da concentração do urucum em água destilada e seus respectivos ajustes teóricos. A Tabela 2 faz um resumo dos valores encontrados para os diferentes parâmetros das amostras estudas.

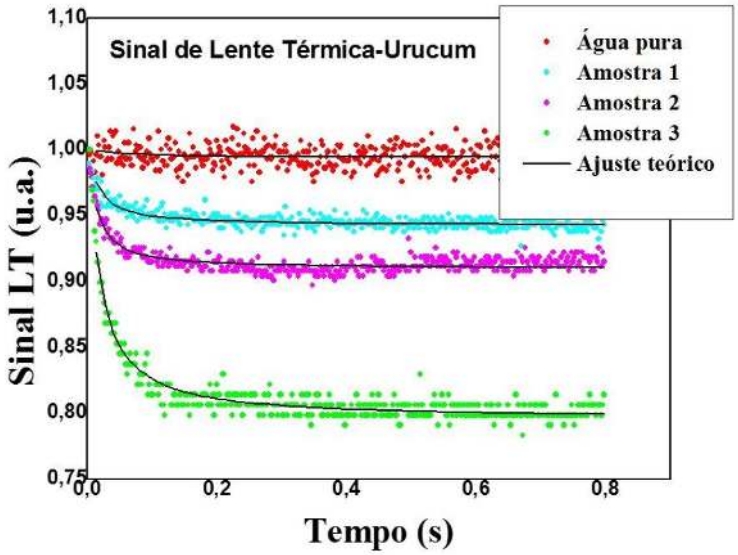
O objetivo de fixação destes valores é para obtenção dos parâmetros geométricos m e V que ajusta a equação 1, ou seja, conhecendo estes valores pode ser obtido a aquisição do sinal de Lente Térmica para cada concentração e determinar o tempo de formação (t_c) da Lente Térmica para logo em seguida, e determinar a difusividade térmica (D) e o parâmetro θ, parâmetro este de fundamental importância para entender o quanto o feixe de prova divergiu. A razão de diluir o urucum diluído na

RECINTER - REVISTA CIENTÍFICA INTERDISCIPLINAR
ISSN 2966-3911

água destilada é apropriado, porque ela não exibe nenhum sinal de Lente Térmica na configuração atual do aparato utilizado na pesquisa. A absorção do feixe na água é praticamente nula, ou seja, a água é transparente no comprimento de onda do feixe de excitação (488 nm) na atual configuração. É fácil encontrar na literatura trabalhos que reportam o efeito de lente térmica na água, como o estudo de Pedreira *et al*. [29], que mostrou resultados de formação de Lente Térmica para água destilada pura, mas na seguinte configuração: feixe de prova de 632,8 nm e feixe de excitação de 514,5 nm e potência do feixe de incidência de 497 mW, portanto com energia e configuração diferentes das que foram usadas neste trabalho. A configuração usada tem a vantagem de excluir qualquer contribuição do solvente sem a necessidade de métodos adicionais.

Entretanto, é possível observar a formação da Lente Térmica já a partir da concentração 0,0528 mg/mL. Isso mostra que os sinais de Lente Térmica notados na Figura 3, são efeitos do urucum e não do solvente (água destilada). Vê-se também que o sinal de Lente Térmica aumenta à medida que a concentração das soluções aumenta. O aumento da concentração acarreta uma maior divergência do feixe de prova, conforme já indicado nas equações 1 e 2.

Figura 3. Sinal de Lente Térmica para as amostras de urucum



RECINTER - REVISTA CIENTÍFICA INTERDISCIPLINAR
ISSN 2966-3911

Tabela 2. Dados das soluções de urucum em água destilada

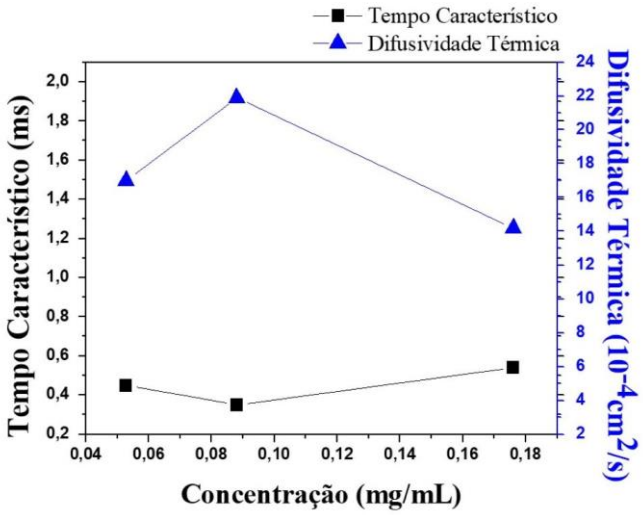
PARÂMETROS	0,0528 mg/mL	0,0880 mg/mL	0,1760 mg/mL
Difusividade Térmica (x10^{-4} cm^2/s)	17,0	21,9	14,2
Tempo característico (ms)	0,45	0,35	0,54
Absorbância (u.a.)	0,122	0,140	0,267
Parâmetro θ	0,05207	0,08232	0,19225
Coeficiente do índice de refração (°C^{-1})	-0,0111	-0,0198	-0,102

Com o ajuste da equação 1, foi possível determinar o parâmetro θ em diferentes concentrações. A Tabela 2 mostra os resultados obtidos, além dos outros valores necessários para a determinação dos parâmetros termo-ópticos. A potência absorvida pela amostra deve ser pequena, para não induzir efeitos de convecção. O modelo de Lente Térmica no modo descasado, é válido quando a potência de excitação gera um θ < 0,3 [38]. Como mostra a Tabela 2, todos os valores obtidos para θ, se encontraram na região < 0,3. Foi observada uma dependência linear do parâmetro θ com a concentração da solução. A partir do ajuste linear, o coeficiente angular da reta vale 1,159 ± 0,087 (θ/(mg/mL)). Conhecendo o parâmetro θ, é possível a determinação do dn/dT e com isso, é possível afirmar que a amostra se comporta como uma lente divergente [29].

A Figura 4 mostra o tempo característico e a difusividade térmica em função da concentração das amostras. Entre as concentrações de 0,0528 mg/mL até 0,0880 mg/mL, as amostras absorveram consideravelmente, devido ao aumento da difusividade térmica. A partir da concentração de 0,088 mg/ml até a concentração 0,176 mg/mL, as amostras apresentam uma baixa absorção do feixe de excitação (conforme Figura 2). Esse efeito e a teoria aqui utilizada contemplam a formação de Lente Térmica em materiais transparentes para ambos os feixes. A solução de maior concentração apresentou menor valor de difusividade térmica. Como mencionado acima, a água destilada não forma sinal de Lente Térmica, sendo o urucum o único responsável pelo efeito mostrado.

RECINTER - REVISTA CIENTÍFICA INTERDISCIPLINAR
ISSN 2966-3911

Figura 4. Tempo característico (t_c) e Difusividade térmica (D) em função da concentração de urucum em água destilada

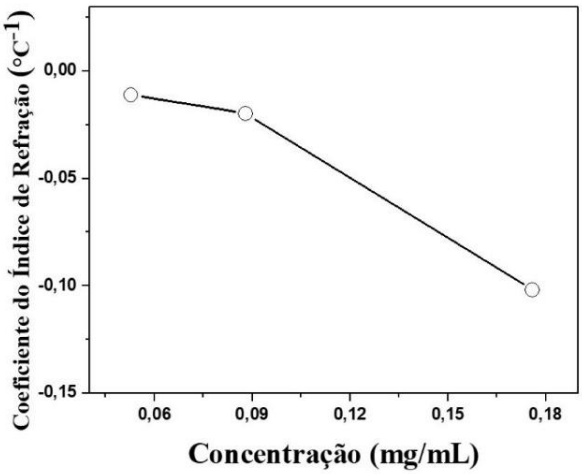


A Figura 5 mostra a variação do coeficiente do índice de refração (dn/dT) com a concentração das amostras. É possível observar que em diferentes concentrações, o coeficiente do índice de refração sofre um decaimento à medida que as concentrações aumentam. Esses valores foram obtidos a partir da equação 2. O sinal de dn/dT depende do meio, e a maioria dos solventes orgânicos se comportam como uma lente divergente [29], como é possível também comprovar através do sinal negativo do coeficiente do índice de refração, mostrados na Tabela 2.

Com as análises realizadas, pode ser observado que o corante natural do urucuzeiro *(Bixa orellana)* foi adequadamente caracterizado usando a técnica de Lente Térmica, apresentando resultados relevantes, mostrando assim, o potencial desta técnica no controle de qualidade das diferentes aplicações dadas a este corante, visto que ele apresenta uma vasta aplicação no ramo industrial, incluindo indústria alimentícia, farmacêutica, cosméticos e etc. Portanto, o corante urucum apresenta potencial para aplicação nas mais diversas áreas.

RECINTER - REVISTA CIENTÍFICA INTERDISCIPLINAR
ISSN 2966-3911

Figura 5. dn/dT em função da concentração da água destilada com urucum



4. CONSIDERAÇÕES

O método de extração utilizado no trabalho foi eficiente, extraindo o corante de urucum e permitindo a sua caracterização.

A técnica de espectroscopia na região do ultravioleta mostrou que a água destilada não absorve no comprimento de onda analisado (290-900 nm), sendo o urucum o responsável pela absorção nesta região do ultravioleta.

Com o aparato de Espectroscopia de Lente Térmica montado, foi possível observar o efeito de Lente Térmica nas soluções de urucum. O sinal de Lente Térmica aumentou à medida que as concentrações das soluções de urucum aumentaram, pois o corante contribuiu na formação de Lente Térmica.

Foi observado uma dependência linear do parâmetro θ com a concentração das soluções. As soluções obtidas a partir de diluições da solução matriz apresentaram maiores valores de difusividade térmica, variando de 14,2 a 21,9 cm^2/s.

Em diferentes concentrações, o coeficiente do índice de refração (dn/dT) das amostras sofreram um decaimento à medida que as concentrações aumentaram. Os sinais obtidos das amostras se comportaram como lentes divergentes, apresentando coeficiente de índice de refração negativo, variando de - 0,0111 a - 0,102 $°C^{-1}$.

Os resultados sugerem eficiência na técnica de lente térmica, mostrando de forma quantitativa, os valores das propriedades térmicas e ópticas das amostras de urucum.

REFERÊNCIAS

[1] Raj V, Soumya S, Swapna MS, et al., “Nondestructive evaluation of heat trap mechanism in coconut oil- a thermal lens study”, Materials Research Express. 2018;5:155504.

RECINTER - REVISTA CIENTÍFICA INTERDISCIPLINAR
ISSN 2966-3911

[2] Ventura M, Deus WB, Silva JR, et al., "Determination of the biodiesel contente in diesel/biodiesel blends by using the near-near-infrared thermal lens spectroscopy", Fuel, 2018;212:309-314.

[3] Basheer NS, Kumar BR, Kurian A, et al., "Thermal lens probing of distance dependente fluorescence quenching of rhodamine 6G by silver nanoparticles", Journal of Luminescence. 2013;137:225-229.

[4] Falcão EA, Eiras JA, Garcia D, *et al.,* "A utilização da técnica de lente térmica para análise das propriedades térmicas de materiais transparentes", Cerâmica. 2009;55:337-340.

[5] Lima SM, Figueiredo MS, Andrade LHC, *et al*., "Effects of residue and antioxidante on termo-optical properties of biodiesel". Applied Optics. 2009;48(30):5728-5732.

[6] Cruz RA., "Espectroscopia de lente térmica de alta sensibilidade". [Tese] São Carlo: Instituto de Física de São Carlos da Universidade de São Paulo; 2008.

[7] Almeida AS, Rivera G, Sousa CA., *et al*., "Thermal lens spectroscopy dosimetry at high doses using a commercial transparent glass", Radiation Measurements. 2019;124:85-90.

[8] Castro MPP, Andrade AA, Franco RWA, *et al*., "Thermal properties measurements in biodiesel oils using photothermal techniques". Chemical Physics Letters, 2005;411:18-22.

[9] Raj V, Swapna S, Kumar KS, *et al*., "Temporal Evolution of sample entropy in termal lens system", Chaos. 2020;30:1-6.

[10] Nagata KMR. "Caracterização das propriedades ópticas, térmicas e dielétricas dos óleos de urucuri (*Attalea phalerata* Mart. ex Spreng.) e inajá (*Maximiliana maripa* (Aublet) Drude)". [Dissertação] Santarém, Pará: UFOPA; 2013.

[11] Watanabe YN. "Sistema experimental com resolução espacial para avaliação do processo de dispersão de parafinas em fluxos de petróleo por espectroscopia de lente térmica (LT) combinada com fluorescência total induzida por laser (LIF) e despolarização da fluorescência induzida por laser (PLF)", [Tese] Salvador: Instituto de Química da Universidade Federal da Bahia; 2015.

[12] Rodriguez LG, Cantini LP, Granizo E, *et al*., "Método de lente térmica resuelta em frecuencia para medir coeficientes de difusión térmica em muestras líquidas", Revista Mexicana de Física. 2015;61:301-306.

[13] Lescano E, Barreiro N, Slezak V. "Técnica de lente térmica pulsado para detección de trazas de Cr (VI) en agua". 2015;26(3):113-117.

[14] Mazza G, Posnicek T, Wagner L-M, *et al*., "Thermal lens spectrometry applied for a sensitive detection of silver-stained protein bands in polyacrylamide gels", Sensors and Actuators B: Chemical. 2017;249:731-737.

[15] Silva SO, Carvalho JM, Pereira EC, et al., "Atividade antimicrobiana e caracterização físico-química de urucum (Bixa orellana L.) em diferentes estádios de maturação", Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais. 2018;20(1):49-57.

[16] Anselmo GCS, Mario ERM, Mata C, et al., "Comportamento higroscópico do extrato seco de urucum (Bixa orellana L)", Ciência e Agrotecnologia. 2008;32(6):1888-1892.

[17] Cuong TV, Chin KB, "Effects of annatto (Bixa orellana L) seeds powder on physicochemical properties, antioxidante and antimicrobial activities of pork patties during refrigerated storage", Korean Journal for Food Science of Animal. 2016;36(4):476-486.

RECINTER - REVISTA CIENTÍFICA INTERDISCIPLINAR
ISSN 2966-3911

[18] Rivera-Madrid R, Aguilar-Espinosa M, Cardenas-Conejo Y, et al., "Carotenoid derivates in anchiote (Bixa orllana) seeds: syntesis and health promoting properties", Frontiers in Plant Science. 2016;7:1406.

[19] Dequigiovanni G, Ramos SLF, Pereira AA, *et al*., "Highly structured genetic diversity of bixa orellana var. urucurana, the wild ancestor of annatto, in Brazilian Amazonia", Plos One. 2018;13:1-19.

[20] Utiyama CE, "Utilização do resíduo de sementes processadas de urucum (*Bixa orellana* L.) na alimentação de suínos em crescimento". [Dissertação] Piracicaba: Universidade de São Paulo; 2001.

[21] Farias HNS, Oliveira AF, Barros GGM, *et al*., Arte e conhecimento Conexão. Fametro. 2017. [Acesso em: maio 2020]; https://doity.com.br/media/doity/submissoes/artigo-6f07a53cb3d4144287eb46263b6f6968ab04226a-arquivo.pdf.

[22] Santos DC, Queiroz AJM, Figuêiredo RMF, *et al*., "Cinética de secagem de farinha de grãos residuais de urucum". Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 2013;17(2):223-231.

[23] Garcia CER, Bolognesi VJ, Dias JFG, *et al*., "Carotenoides bixina e norbixina extraídos do urucum (*Bixa orellana* L.) como antioxidantes em produtos cárneos", Ciência Rural. 2012;42(8):1510-1517.

[24] Leonardo SB. "Extração de pigmentos de urucum e estabilidade de seus extratos e de sementes", [Dissertação] São Caetano do Sul: Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia; 2007.

[25] Demczuk Jr B, Ribani RH, "Atualidades sobre a química e a utilização do urucum (*Bixa orellana* L.)", Revista Brasileira de Pesquisa em Alimentos. 2015;6(1):37-50.

[26] Santos JAA, Sousa MFAM, Silva ELV, *et al*., "Avaliação histomorfométrica do efeito do extrato aquoso de urucum (norbixina) no processo de cicatrização de feridas cutâneas em ratos". Revista Brasileira de Plantas Medicinais. 2014;16(3):637-643.

[27] Zongo S, Kerasidou AP, Sone BT. et al., "Nonlinear optical properties of poly(methy methacrylate) thin films doped with bixa orellana dye". Applied Surface Science. 2015;340:72-77.

[28] Costa CLS, Chaves MH. "Extração de pigmentos das sementes de bixa orellana L.: Uma alternativa para disciplinas experimentais de química orgânica". Química Nova. 2005;28(1):149-152.

[29] Passos JPR. "Espectroscopia de lente térmica aplicada ao sistema ácido oléico/beta caroteno", [Dissertação] Belém: Universidade Federal do Pará; 2007.

[30] Scotter MJ. The chemistry and analysis of annatto food colouring: a rewiew. Food Additives and Contaminants. 2009;26(8):1123-1145.

[31] Takamoto RTO. "Caracterização e aplicação de nanodispersão de bixina". [Dissertação] São Paulo Universidade de São Paulo; 2015.

[32] Alves AL. "Síntese e caracterização de poliamida a partir do produto natural norbixina e o fármaco dapsona". [Dissertação] Teresina: Instituto Federal do Piauí; 2017.

[33] Fonseca TN, Teixeira PS, Moura E, *et al*., International Nuclear Atlantic Conference- INAC.[Acesso em maio de 2020]; https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/49/020/49020770.pdf.

RECINTER - REVISTA CIENTÍFICA INTERDISCIPLINAR
ISSN 2966-3911

[34] Silva MG, Garcia AL, Brito ES, *et al*., "The annatto carotenoids and the norbixin absorption coeficiente". Revista do Instituto Adolfo Lutz. 2018;77:1-8.

[35] Gonçalves MJ, Barcellos IO, Valle RCSC, *et al*., "Estudo da viabilidade do tingimento da poliamida com corante natural de urucum". Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental. 2020;9:571-585.

[36] Bechtold T, Mussak R. Handbook of natural colorants, United Kingdom, John Wiley & Sons Ltd, 2009.

[37] Pedreira PRB, Hirsch L, Pereira JRD, *et al*., "Temperature dependence of the thermo-optical properties of water determined by termal lens spectrometry", Review of Scientific Instruments. 2003;74(1):808-810.

[38] Cabral AJF. "Caracterização térmica de compostos orgânicos usando a técnica de lente térmica", [Dissertação] Belém: Universidade Federal do Pará; 2010.