

DESENVOLVIMENTO DE ACESSÓRIO PORTÁTIL DE CONTROLE DE TEMPERATURA PARA MEDIDAS ESPECTROSCÓPICAS**Daniel Aparecido Pires^a, Henrique José da Silva^a, Lucas Alonso Rocha^a e Eduardo José Nassar^{a,*}**^aUniversidade de Franca, 14404-600 Franca – SP, Brasil

Recebido em 02/01/2022; aceito em 07/06/2022; publicado na web em 21/07/2022

DEVELOPING A PORTABLE DEVICE TO CONTROL TEMPERATURE DURING SPECTROSCOPIC MEASUREMENTS. Temperature is a natural phenomenon that may modify the structure of chemical compounds and hence their properties. We aimed to develop a simple portable system based on the Peltier principle for spectral characterization of compounds with temperature-dependent structure. The device was constructed and adapted to three pieces of equipment: X-ray diffractometer, vibrational spectrophotometer, and electronic spectrophotometer. The device was evaluated by using commercial thermochromic inks, whose color depends on temperature. The X-ray diffraction results for the ink whose color changed at a transition temperature of 31 °C showed that the peak at $2\theta = 21.6^\circ$ decreased probably due to alterations in the structures of the components underlying the ink color and solvent. The absorption spectra showed reduced absorption, typical of change in color, a property that is inversely proportional to temperature. The device working range varied from 15 to 75 °C, and it was constructed from parts that are easily available in the national market at an affordable price. The device can be adapted to different equipment with distinct configurations regarding the sample compartment.

Keywords: monochromatic inks; Peltier pellets; temperature sensors.

INTRODUÇÃO

A temperatura é um fenômeno natural que intriga a humanidade desde de seu primórdio, as mudanças nas propriedades físicas e químicas nos sistemas químicos submetidos a diferentes temperaturas é um tema de abrangência multidisciplinar.

Neste trabalho foram utilizados alguns princípios físicos, os quais estão definidos a seguir: Efeito Seebeck é a medida de diferença de temperatura induzida por uma tensão elétrica em um sólido condutor, sendo essencialmente um fenômeno de transporte térmico sem equilíbrio.¹ Por outro lado, um gerador termoelétrico utiliza a energia térmica para gerar eletricidade diretamente, desde que haja uma diferença de temperatura, quando a corrente elétrica flui ela se torna uma máquina de calor que bombeia calor de um lado para o outro, a magnitude e direção do fluxo de calor dependem da corrente, esse fenômeno é conhecido como efeito Peltier.^{2,3}

Esses processos deram origem as chamadas Pastilhas de Peltier, as quais foram descobertas em 1934 pelo físico Jean Charles Athanese Peltier e são também conhecidas como pastilhas termoelétricas, que ao serem energizadas, aquece uma face e esfria a outra face.⁴ As pastilhas consistem em pequenos blocos de telureto de bismuto (Bi_2Te_3) com dopagem tipo N que geram cargas negativas (elétrons livres) e tipo P que geram cargas “positivas”, (ausência de elétrons) conhecidas também como lacunas. A aplicação da corrente elétrica provoca o deslocamento dos elétrons entre os semicondutores, absorvendo e liberando energia térmica (quente e frio).⁵

Utilizando desses princípios, este trabalho teve por objetivo desenvolver um sistema simples, portátil e acessível para medidas espectroscópicas em função da temperatura. A utilização de tintas termocromicas comerciais, as quais apresentam mudanças de cor dependente da temperatura a que são submetidas,⁶ além disso, essas tintas apresentam a propriedade de reversibilidade, ou seja, mudança de cor com o aumento da temperatura e retorno a cor original após redução da temperatura. Os compostos os mais comuns utilizados são os orgânicos.⁷

Os sistemas desenvolvidos foram adaptados nos equipamentos da central analítica da Universidade de Franca, difratômetro de raios X, espectrofotômetros vibracional e eletrônico. O controle da temperatura em sistemas químicos promove o entendimento das suas propriedades, assegurando maiores funcionalidades. A motivação para o desenvolvimento de um sistema de baixo custo e adaptável em equipamentos de diferentes fabricantes deverá contribuir para minimizar a dependência dos grandes fabricantes.

MATERIAIS E MÉTODOS

As pastilhas de Peltier foram adquiridas no comércio local e caracterizadas para comprovação de suas propriedades. O número de pastilhas utilizadas para cada tinta foi dependente da diferença de temperatura atingida entre a face que aquece e a que esfria. Ajustes foram necessários, como a utilização de dissipador de calor para controle da temperatura. Além disso, para cada equipamento utilizado, ajustes foram realizados no compartimento de amostras para que as medidas seguissem as orientações dos fabricantes, como vedação do compartimento para evitar radiações externas, entre outras.

Caracterização das pastilhas de Peltier

As caracterizações das pastilhas de Peltier - modelo: TEC1 – 12706 com dimensões de 4 mm / 40 mm / 40 mm, temperatura máxima de 75 °C, tensão máxima de 16,4 V e corrente máxima de 6,4 A, foram realizadas fixando-se as pastilhas no suporte, acoplado a dois termopares do tipo k com faixa de medição de -40 °C até 204 °C, um de cada lado das pastilhas para monitoramento da temperatura, conforme ilustrado na Figura 1.

As pastilhas Peltier foram alimentadas por uma fonte de tensão modelo MPL 3303M (Minipa, São Paulo, Brasil) com a variação de tensão de 0 – 32 V e corrente máxima de 3 A. As tensões e a correntes nas pastilhas foram monitoradas empregando dois multímetros modelos ET-2028C (Minipa, São Paulo, Brasil). Outros dois multímetros semelhantes foram usados para medir

*e-mail: ejnassar@gmail.com

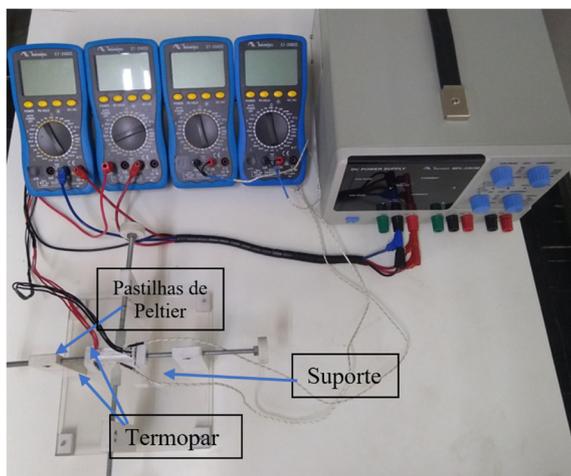


Figura 1. Sistema para caracterização das pastilhas de Peltier

as temperaturas das faces aquecida e resfriada dos dispositivos termoelétricos, as pastilhas de Peltier fixadas no suporte de acrílico e PVC, com dimensões de 170 mm / 170 mm / 120 mm, conforme ilustrado na Figura 1.

A fonte de alimentação foi ajustada em 0,0 V e a tensão nas pastilhas com incrementos de 0,2 V em 0,2 V. A cada aumento de tensão registrou a temperatura da pastilha e a corrente consumida. Esse experimento teve como objetivo: relacionar a variação da temperatura com a potência consumida pela pastilha para conseguir o melhor desempenho para temperaturas mais baixas. O experimento foi repetido com duas pastilhas sobrepostas (lado quente com lado frio) separados por uma pasta térmica, a ideia de se utilizar duas pastilhas de Peltier é promover uma maior diferença de temperatura entre a face que aquece a que resfria.

Tintas termocromáticas Chromazone®

As tintas termocromáticas utilizadas são da marca ChromaZone® da empresa TMCHallcrest – UK, as quais foram doadas por uma empresa da cidade de Franca. As estruturas químicas dos componentes não são divulgadas por se tratar de um produto comercial, as informações disponíveis descrevem que as tintas são formadas por compostos orgânicos e a mudança de cor inicia-se 4 °C abaixo da temperatura de transição. As tintas utilizadas apresentaram temperaturas de transição de 22, 25 e 31 °C.

Caracterização das tintas termocromáticas

Uma gota de cada tinta foi fixada sobre a pastilha de Peltier no suporte, o qual atua para garantir o isolamento térmico, as tintas com temperaturas de ativação de 22 e 25 °C foram utilizadas o lado que

esfria da pastilha de Peltier e a de 31 °C o lado que aquece, as tintas permaneceram por 24 h até secarem totalmente.

Em seguida, foi aplicado 1,8 V na pastilha de Peltier e o controle de temperatura realizado através da placa modelo W1209 marca Animuss (Shezhen Animuss Company Limited, Guangdong, China).

A tinta com temperatura de transição de 22 °C utilizou intervalo de temperatura de 15 à 25 °C, para a de 25 °C o intervalo foi de 18 à 28 °C e para a de 31 °C a faixa de temperatura foi de 23 à 34 °C, para todas as amostras o incremento de temperatura foi de 1 em 1 °C. O registro fotográfico da mudança de coloração das tintas foi realizado após 2 min da alteração da tensão. O processo inverso foi realizado, com decréscimo da temperatura de 1 em 1 °C nos mesmos intervalos de temperaturas.

Controle da temperatura no difratômetro de raios X

As medidas de difração de raios X foram realizadas em um difratômetro de raios X Miniflex II da Rigaku Corporation, radiação $K\alpha$ Cu, as tintas secas e trituradas foram colocadas no porta amostras do equipamento, conforme ilustrado na Figura 2a e acoplada ao difratômetro, conforme Figura 2b e a Figura 2c mostra a visão externa do sistema do equipamento com o acessório de temperatura.

Controle de temperatura no Espectrômetro de Infravermelho (FTIR)

O sistema utilizado para as medidas espectroscópicas vibracional foi realizado em um espectrômetro de infravermelho (FTIR) Perkinelmer modelo Frontier 93430, modo Reflectância Total Atenuada (ATR), o sistema foi adaptado ao porta amostra, sendo confeccionado em alumínio para melhor condução de calor. O princípio desse sistema ocorre por transferência de calor das pastilhas de Peltier. A Figura 3a representa o sistema contendo o porta amostra, pastilhas de Peltier e cooler. Figura 3b mostra o dispositivo desenvolvido acoplado ao acessório de ATR e Figura 3c visão externa no espectrômetro.

Controle de temperatura no Espectrofotômetro UV-Vis

O controle de temperatura no espectrofotômetro UV-Vis de sólido da Ocean Optics, com sonda de reflectância difusa, lâmpada de Xe PX-2 e detector QE65000 foi de mais fácil confecção, pois o sistema opera em ambiente aberto. A Figura 4a e 4b apresenta o porta amostra e o sistema acoplado no equipamento, respectivamente.

Acessórios para medidas em função da temperatura são produzidos e recomendados pelos próprios fabricantes dos equipamentos, os quais são normalmente importados e seus valores estimados em dólares. A Quadro 1 apresenta os valores individuais e totais para a montagem do sistema utilizado neste artigo. É importante destacar que o custo desses sistemas não ultrapassou R\$ 1.000,00 (mil reais).

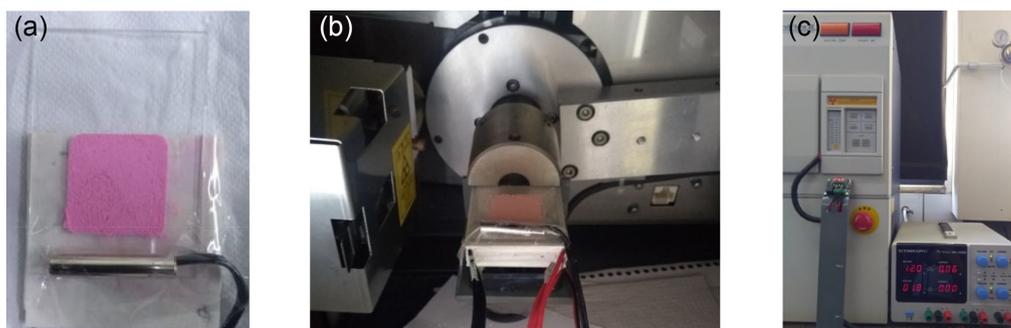


Figura 2. a) Tinta termocromática triturada e colocada no porta amostras do difratômetro de raios X, b) porta amostra montado no difratômetro contendo a amostra e c) visão externa de parte do difratômetro e do sistema para controle da temperatura



Figura 3. a) Suporte para o porta amostra de alumínio, b) sistema acoplado ao ATR e c) visão externa do sistema no espectrômetro

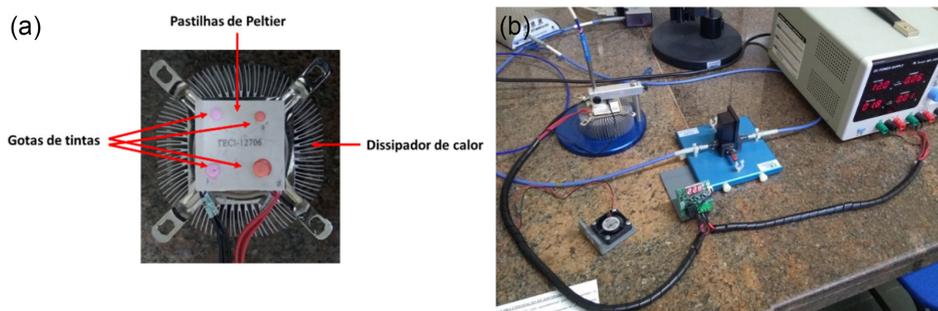


Figura 4. a) Sistema para resfriar/aquecer amostras no espectrofotômetro UV-Vis para sólidos e b) sistema de controle da temperatura instalado no espectrofotômetro

Quadro 1. Valor médio dos componentes para desenvolver o projeto e tempo gasto no desenvolvimento do sistema

Peça	Valor (R\$)	Quantidade	Total (R\$)
Pastilha de Peltier, modelo: TEC1-12706	40,00	3	120,00
Dissipador de alumínio	36,00	1	36,00
Pasta térmica	12,00	1	12,00
Placa para controle da temperatura, modelo: W1209	26,00	1	26,00
Cooler 40mm/40mm/10mm, 12V	13,00	1	13,00
Fonte chaveada 12V, 5A	22,00	1	22,00
Fonte ajustável 0 a 50V, 5A	470,00	1	470,00
Total			699,00
Tempo médio para fabricar o dispositivo			10 h
Tempo médio para fazer as adaptações em cada equipamento			30 min
Tempo médio para variar a temperatura em +/- 1°C			30 s

Quadro 2. Caracterização dos sistemas contendo diferentes números de pastilhas de Peltier, diferença de temperatura das faces em função da tensão aplicada

Sistema	Intervalo de Tensão (V)	T _{face quente} (°C)	T _{face fria} (°C)
1 pastilha s/dissipador	0,0 – 4,6	28 - 76	26 - 43
2 pastilhas s/dissipador	0,0 – 3,8	26 – 77	24 – 32
3 pastilhas s/dissipador	0,0 – 3,6	21 - 76	21 - 22
2 pastilhas c/dissipador	0,0 – 5,0	24 – 52	21 – 9
3 pastilhas c/dissipador	0,0 – 5,0	29 - 56	25 - 8

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pastilhas de Peltier

Os sistemas foram montados com uma, duas e três pastilhas de Peltier, com e sem dissipador de calor de alumínio, com dimensões de 90 mm / 90 mm / 40 mm, esse estudo foi realizado para verificar a diferença de temperatura entre as faces que aquece e que esfria. O Quadro 2 apresenta o intervalo de tensão utilizada e as temperaturas máximas e mínimas das faces.

Os sistemas sem o dissipador de calor apresentaram uma temperatura da face que aquece ao redor de 76 °C, e um decréscimo da temperatura da face fria, esse fato ocorre devido ao aumento da distância entre as duas faces dos sistemas montados, quanto maior a distância entre as faces, menor a temperatura da face fria da pastilha de Peltier. O sistema contendo uma pastilha de Peltier apresenta maior temperatura na face fria, isso se deve à proximidade entre as duas faces, ao adicionar duas e três pastilhas esse distanciamento reduz a temperatura da face fria. Esse sistema foi aplicado para a tinta que apresenta uma maior temperatura de transição.

A montagem do sistema com o dissipador de calor promove uma redução da temperatura máxima de ambas as faces, a que aquece e a que resfria. Isso já era esperado, pois o dissipador atua na dissipação do calor não deixando que ocorra a transferência de calor entre as faces.

Em todas as caracterizações das pastilhas de Peltier, quando relaciona a diferença de temperatura em função da tensão aplicada, observa-se uma linearidade nos dados, para efeito de ilustração a Figura 5 apresenta o gráfico desta relação para o sistema contendo uma pastilha de Peltier.

O Quadro 3 apresenta a linearidade da diferença de temperatura em função da tensão aplicadas para todos os sistemas.

Tintas termocrômicas Chromazone®

As tintas foram caracterizadas com relação a mudança de cor em função da temperatura de transição, gotas das tintas foram colocadas sobre a pastilha de Peltier. A variação da tensão promoveu mudanças da temperatura, a qual foi acompanhada através de registro fotográfico, o sistema utilizado é mostrado na Figura 6.

As Figuras 7a, 7b e 7c mostram as fotografias das gotas das tintas utilizada neste trabalho em função da temperatura com incremento de 1 °C no intervalo de temperatura da mudança de cor, conforme relatado pelo fabricante.

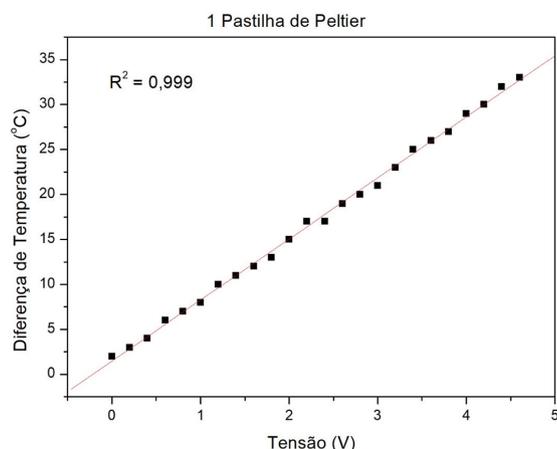


Figura 5. Diferença de temperatura entre as faces que aquece e esfria em função da tensão aplicada para o sistema com uma pastilha de Peltier sem o dissipador de calor

Observa-se que a cor inicial das tintas irá desaparecendo conforme o aumento da temperatura, o intervalo de temperatura está relacionado

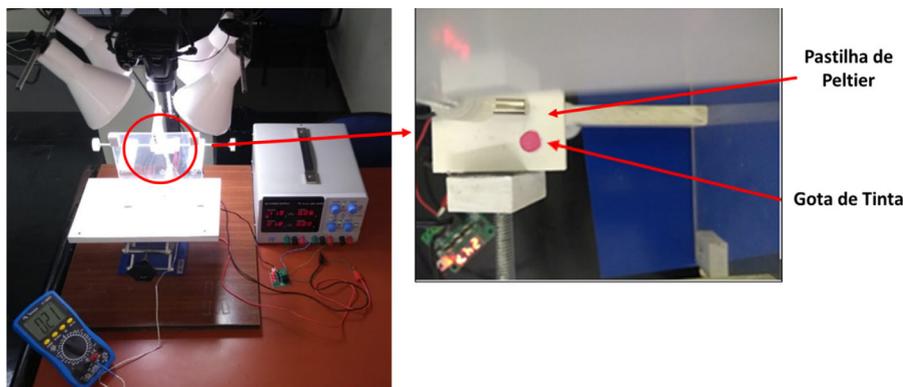
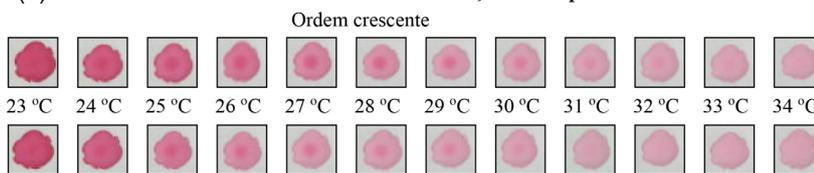


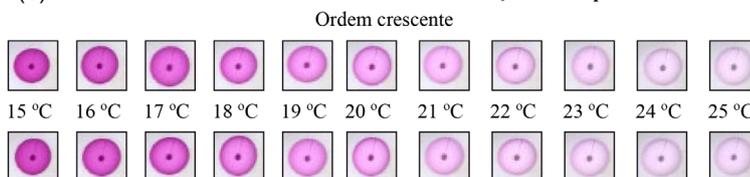
Figura 6. Sistema para medidas da mudança de cor das tintas termocromáticas em função da temperatura

(a) Escala de cor da tinta termocromática em função da temperatura



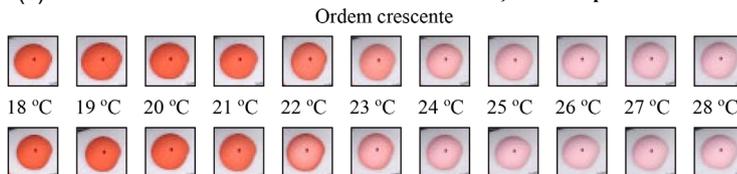
Ordem decrescente

(b) Escala de cor da tinta termocromática em função da temperatura



Ordem decrescente

(c) Escala de cor da tinta termocromática em função da temperatura



Ordem decrescente

Figura 7. As fotografias das três tintas foram registradas a cada 2 min, a) tinta com temperatura de transição de 31 °C, b) tinta com temperatura de transição de 22 °C e c) tinta com temperatura de transição de 25 °C

Quadro 3. R^2 para os sistemas com 1, 2 e 3 pastilhas de Peltier sem dissipador de calor e 2 e 3 pastilhas com o dissipador

Sistema	R^2
1 Pastilha de Peltier s/ dissipador	0,999
2 Pastilhas de Peltier s/ dissipador	0,99788
3 Pastilhas de Peltier s/ dissipador	0,99942
2 Pastilhas de Peltier c/ dissipador	0,99946
3 Pastilhas de Peltier c/ dissipador	0,99719

com a temperatura de transição de cada tinta. O processo inverso, ou seja, o resfriamento também foi acompanhado e registrado, nota-se claramente que o processo é reversível.

Segundo o fabricante a tinta começa a sofrer alteração na cor 4 °C abaixo da temperatura de transição, para a tinta com temperatura de transição de 31 °C (Figura 7 a) a tinta começa a sofrer alterações na temperatura de 26 °C, ou seja, 5 °C abaixo da temperatura de transição. Acima de 31 °C não se observa mudanças significativas na cor da tinta. As tintas com temperatura de transição de 22 e 25 °C apresentaram início de mudança de cor ao redor de 4 °C abaixo, conforme fabricante.

Substâncias inorgânicas, normalmente apresentam esse

comportamento termocrômico provocado por mecanismos de transição de fase, alterações de geometria molecular, entre outros. Apesar da sua estabilidade ser superior às substâncias orgânicas, a temperatura de alteração de cor é elevada, a temperatura para que ocorra tal fenômeno gira em torno de 50 °C.⁸ As substâncias orgânicas são do tipo corantes leuco, esses são constituídos por três componentes: um formador de cor, um desenvolvedor de cor e um solvente.⁹ Segundo Ma *et al.*,¹⁰ às temperaturas elevadas a molécula do formador de cor apresenta um anel fechado, designado por anel lactona. Nessa fase, as interações entre o formador e o revelador de cor são nulas e por isso a molécula do primeiro encontra-se estável. Quando se abaixa a temperatura, solidificando o solvente, a ligação C-O do formador se quebra reversivelmente para estabilizar a molécula, o carbono forma uma dupla ligação, ficando o oxigênio ligado carregado negativamente. Uma vez que as moléculas procuram sempre o equilíbrio, a dupla ligação do oxigênio é quebrada e a carga negativa distribuída uniformemente pela ligação O-C-O.¹¹ No entanto, como a molécula continua com uma carga negativa, ela tende a reagir com o revelador de cor, como explicado anteriormente. Uma característica das substâncias orgânicas termocrômicas é a baixa temperatura de transição de cor. As mudanças de cor podem ser atribuídas a formação ou destruição de um complexo colorido entre o formador de cor sensível ao pH e um revelador. A abertura do anel pode ser induzida pela adição de um próton ou pelo aumento da capacidade de ligação de hidrogênio do ambiente hospedeiro, o que geralmente é feito pela adição de um revelador. O comportamento termocrômico de sistemas baseados em corantes leuco de três componentes é influenciado pela: i) acidez do revelador e do cossolvente; ii) fatores estéricos do formador e revelador de cor; iii) e à solvatação do complexo colorido de um formador de cor e um revelador no componente cossolvente fundido.¹²

Raios X, UV-Vis e infravermelho

A tinta com temperatura de transição de 31 °C foi utilizada para testar o acessório de temperatura nos equipamentos; difratômetro de raios X, espectrofotômetro UV-Vis e vibracional na região do infravermelho. A Figura 8 mostra os difratogramas de raios X do porta amostra (vidro) e da amostra registrado em cinco temperaturas, antes e após a mudança de coloração.

As medidas foram obtidas em tempo real sem alteração da posição da amostra e do porta amostra, portanto, é factível a comparação das intensidade nos difratogramas. O pico em $2\theta = 21,6^\circ$ apresentou-se intenso para a temperatura de 24 °C, o mesmo pico começa

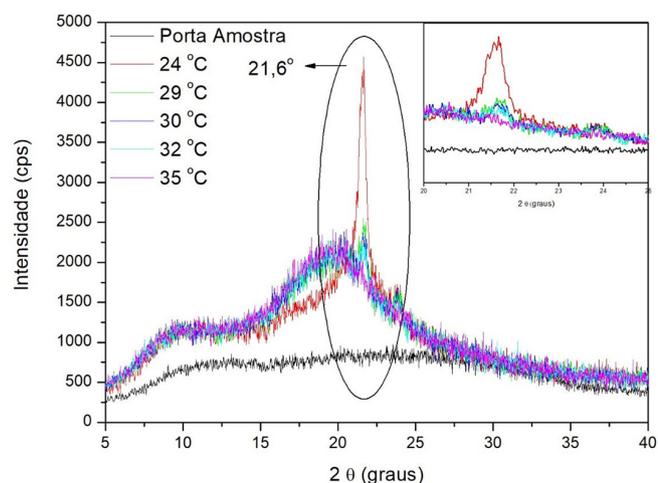


Figura 8. Difratogramas de raios X da tinta com temperatura de ativação de 31 °C em cinco diferentes temperaturas. Ampliação da região de interesse

a decrescer de intensidade com o aumento da temperatura, até desaparecer totalmente nas temperaturas acima de 31 °C. O pico pode ser atribuído ao estearato de metila composto em fase monoclinica (ICDD PDF nº 00-032-1764), esse composto é frequentemente utilizado como solvente que define a transição da temperatura em pigmentos termocrômicos.¹³

As análises foram realizadas sem necessidade de abrir a tampa do equipamento, pois foi possível alterar a temperatura do experimento através da placa de controle de temperatura fixado no suporte na parte externa do difratômetro de raios X (Figura 2).

O Quadro 4 apresenta a intensidade do pico em $2\theta = 21,6^\circ$ em função da temperatura.

Quadro 4. Intensidade do pico em $2\theta = 21,6^\circ$ em função da temperatura para a tinta termocrômica com temperatura de transição de 31 °C

Tinta termocrômica ChromaZone®, com temperatura de ativação de 31 °C			
Temperatura da tinta (°C)	2θ (graus)	Intensidade (cps) do pico	Cor da Tinta
24	21,7	4566	
25	21,6	4475	
26	21,5	3783	
27	21,6	3733	
28	21,6	2650	
29	21,6	2550	
30	21,6	2366	
31	21,7	2258	
32	21,6	2241	
33	21,6	2000	
34	21,6	1933	
35	21,6	2000	

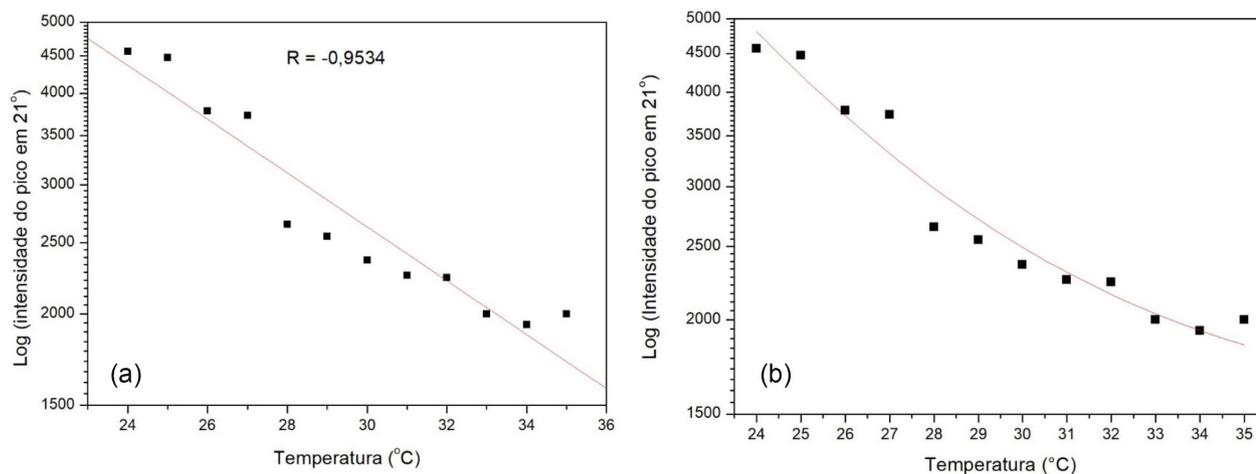


Figura 9. Ajuste matemático para a intensidade do pico em $20 = 21,6^\circ$ em função da temperatura para a tinta com temperatura de ativação de 31°C , a) ajuste linear e b) exponencial

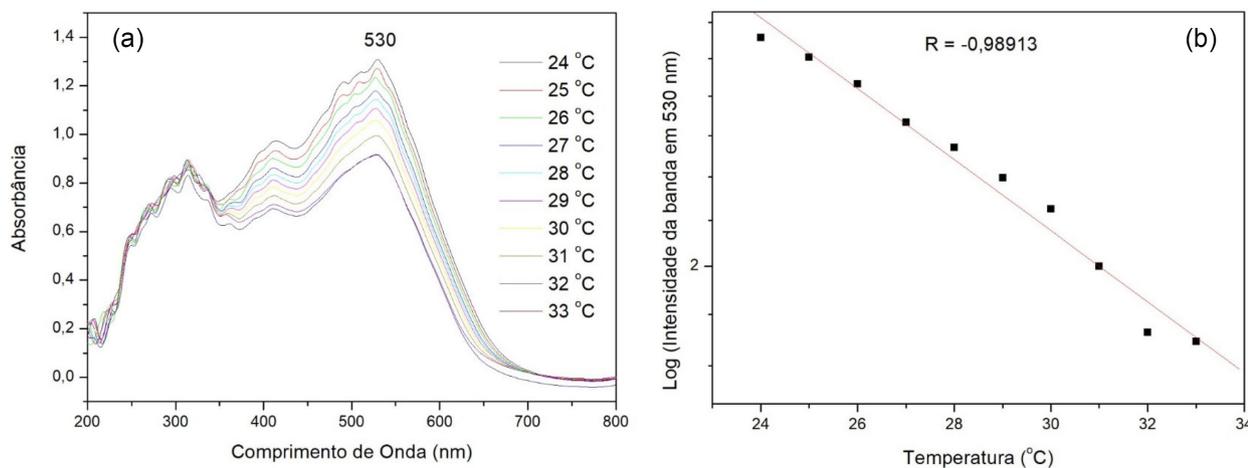


Figura 10. a) Espectros de absorvância da tinta com temperatura de transição de 31°C e b) ajuste linear da banda em 530 nm, em função da temperatura

As Figuras 9a e 9b mostram o ajuste matemático (linearidade e exponencial) para a intensidade do pico em função da temperatura.

Observa-se que para as medidas de DRX a intensidade do pico em função da temperatura apresenta um ajuste exponencial, porém, quando analisa a intensidade dos espectros eletrônicos em função da temperatura observam-se um comportamento diferente, o qual será visto a seguir. As Figuras 10a e 10b mostram os espectros de absorção para as diferentes temperaturas utilizadas e o ajuste linear para absorvância em função da temperatura.

A Figura 10b mostra a dependência da intensidade de absorção com a temperatura do tipo Arrhenius, como pode ser visto pela equação 1.^{14,15}

$$I_A = A \exp(-E/kT) \text{ ou } \ln I_A = \ln A - (E/kT) \quad (1)$$

sendo I_A – intensidade de absorção, A – constante experimental dependente do sistema, E energia do nível, k constante de Boltzmann e T temperatura absoluta.

O aumento da temperatura reduz a interação do formador de cor com o solvente, promovendo a diminuição na absorção do formador de cor e, por consequência, a redução na intensidade da banda no espectro. No caso de corantes leucos, pode estar relacionado à abertura do anel.¹⁶

As mudanças observadas pelas medidas de DRX e eletrônicas através das medidas de absorvância na região UV-Vis, mostraram ser

dependentes da temperatura, e o sistema mostrou-se adequado para mostrar essas alterações.

Os principais picos de absorção nos espectros de infravermelho correspondem ao metil estearato, 2929, 2841, 1736, 1466, 1173, 1011, 885 e 732 cm^{-1} .¹⁷ A Figura 11 apresenta os espectros vibracionais na região do infravermelho para a tinta com temperatura de transição de 31°C , medidas à 27, 29, 31 e 33°C .

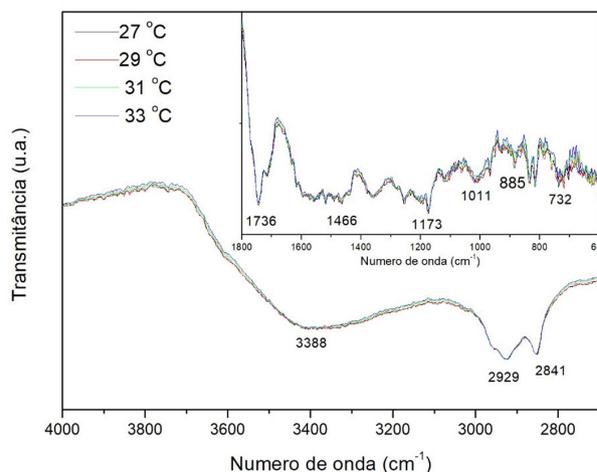


Figura 11. Espectro de infravermelho para a tinta com temperatura de transição de 31°C para diferentes temperaturas

Os espectros vibracionais na região do infravermelho apresentaram picos nas regiões que confirmam a presença de compostos orgânicos aromáticos.^{18,19} No Quadro 5 são apresentadas as principais atribuições observadas.

Quadro 5. Atribuições dos números de ondas da tinta com temperatura de ativação de 31 °C

Atribuição	Número de Onda (cm ⁻¹)	Atribuição	Número de Onda (cm ⁻¹)
v C-H _s	2929	v O-H	3388
v C-H _{as}	2841	v C=C _{aromático}	1622
v C=O _{plano}	1736	v C=N _{aromático}	1358
δ O-H	1466	v Ar-O _{aromático}	1255
v C-O _{fora do plano}	1260	v C _{spiro} -O	1011
δ OH	956	δ CH ₃	1464
δ CH ₂	732		

Alterações nos picos em 1736 e 1260 cm⁻¹, correspondente aos estiramentos C=O_{plano} e C-O_{fora do plano}, respectivamente e podem indicar mudanças no composto termocrômico, pois esses grupos funcionais são os principais responsáveis pela mudança de cor nesse tipo de composto. Porém, não foi possível observar essas alterações no número de onda devido à resolução do equipamento utilizado.

CONCLUSÕES

A utilização das propriedades das pastilhas de Peltier é possível desenvolver sistemas de baixo custo para estudo de compostos químicos dependente da temperatura. O sistema mostrou-se facilmente adaptável para diferentes equipamentos de diferentes fabricantes.

A união de diferentes áreas do conhecimento apresenta-se como excelente alternativa para o desenvolvimento científico. A equipe composta por engenheiros e químicos proporcionou a junção das habilidades individuais para a produção do dispositivo de temperatura e interpretação dos resultados, como consequência, atingindo seus objetivos.

AGRADECIMENTOS

Esse estudo foi parcialmente financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Finance Code 001. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado

de São (FAPESP, processo 2019/26439-5 (E. J. N.) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, processos 302702/2018-0; 308983/2021-1 (L. A. R.) e 302668/2017-9; 303228/2021-0 (E. J. N.).

REFERÊNCIAS

- Sun, P.; Kumar, K. R.; Lyu, M.; Wang, Z.; Xiang, J.; Zhang, W.; *The Innovation* **2021**, 2, 100101. [Crossref]
- Astrain, D.; Vián, J. G.; Albizua, J.; *Appl. Therm. Eng.* **2005**, 25, 3149. [Crossref]
- Wang, J.; Cao, P.; Li, X.; Song, X.; Zhao, C.; *Energy Convers. Manage.* **2019**, 200, 112074. [Crossref]
- Fernandes, J. D. F. S.; Braz, A. de F.; Machado, L. S. S. X.; Pimentel, E. de S.; Farias, A. V. A.; Campos, A. L. P. de S.; *HOLOS* **2010**, 2, 25.
- Gehring, F. K.; Hüttner, M. E.; Huebener, R. P.; *Cryogenics* **2001**, 41, 521. [Crossref]
- Seeboth, A.; Löttsch, D.; *Thermochromic phenomena in polymers*. Smithers Rapra Technology Limited: Shawbury, 2008. ISBN: 9781847351135 1847351131
- Kulcar, R.; Friskovec, M.; Hauptman, N.; Vesel, A.; Gunde, M. K.; *Dyes Pigm.* **2010**, 86, 271. [Crossref]
- Cui, H.-N.; *Metadados*, Universidade do Minho, 2005.
- Burkinshaw S. M.; Griffiths J.; Towns, A. D.; *Colour Science* **1999**, 1, 107. [Crossref]
- Ma, Y.; Zhang, X.; Zhu, B.; Wu, K.; *Cem. Concr. Res.* **2009**, 39, 90. [Crossref]
- Ma, Y.; Zhu, B.; *Solar Energy* **2002**, 72, 511. [Crossref]
- Panák, O.; Držková, M.; Kaplanová, M.; Novak, U.; Gunde, M. K.; *Dyes Pigm.* **2017**, 136, 382. [Crossref]
- Perez, G.; Mota-Heredia, C.; Sánchez-García, J.A.; Guerrero, A.; *Constr. Build. Mater.* **2020**, 251, 119038. [Crossref]
- Ferreira, M. F.; de Sousa, K. Z. R.; Massarotto, W. L.; Ricci, E. G.; de Faria, E. H.; Ciuffi, K. J.; Sevic, D.; Rocha, L. A.; Nassar, E. J.; *J. Braz. Chem. Soc.* **2021**, 32, 376. [Crossref]
- He, H.; Liu, Y.; Yin, J.; Wang, X.; Lin, X.; Zhang, S.; *Solid State Electronics* **2021**, 181-182, 108011. [Crossref]
- Suzuki, M.; Asahi, T.; Masuhara, H.; *J. Photochem. Photobiol., A* **2006**, 178, 170. [Crossref]
- Xu, S.; Zou, L.; Ling, X.; Wei, Y.; Zhang, S.; *Energy and Buildings* **2014**, 68, 372. [Crossref]
- Raeesi, M.; Alinejad, Z.; Hamrang, V.; Mahdavian, A. R.; *J. Colloid Interface Sci.* **2020**, 578, 379. [Crossref]
- Zhang, H.; Chen, Z.; Li, L.; Zhu, C.; *Constr. Build. Mater.* **2017**, 155, 1198. [Crossref]

