



APLICAÇÃO DO NARIZ ELETRÔNICO NA DETECÇÃO DE ÓLEO ESSENCIAL DE CANELA (*Cinnamomum cassia*)

GIOVANA FELTES^{1*}, SOFIA F. M. DE OLIVEIRA¹, JULIANA STEFFENS¹, NATALIA
PAROUL¹, CLARICE STEFFENS¹

¹Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Programa de Pós Graduação em
Engenharia de Alimentos

*e-mail: giovanafeltes-eal@outlook.com

RESUMO - O óleo essencial de canela é amplamente utilizado como matéria prima na indústria de alimentos devido seu sabor e aroma. Métodos físico-químicos tradicionais demandam de tempo, reagentes, pessoas qualificadas, equipamentos e alto custo de investimento, assim o nariz eletrônico surgiu como uma alternativa de análise, apresentando técnica de baixo custo e resposta rápida. Desse modo o objetivo do trabalho é a aplicação do nariz eletrônico na detecção dos compostos voláteis do óleo essencial da canela a partir de um arranjo de sensores de nanocompósitos poliméricos com diferentes camadas sensoras (PANI e PANI/GO). A resposta do nariz eletrônico foi caracterizada quanto à sensibilidade, reversibilidade e limite de detecção. Os sensores foram expostos a diferentes concentrações de óleo essencial de canela em ordem crescente de concentração, todos os sensores conseguiram distinguir as diferentes concentrações, apresentando boa resposta na detecção do óleo essencial de canela. O sensor PANI/GO apresentou maior sensibilidade e menor limite de detecção. Quanto à reversibilidade para ambos os sensores foram acima dos 90 %. Diante dos resultados obtidos, o nariz eletrônico mostrou-se como uma alternativa para análise de detecção dos compostos voláteis do óleo essencial de canela, com potencial aplicação na indústria.

Palavras-chave: Óleo essencial, Nariz eletrônico, Sensores, Camadas sensoras.

ABSTRACT - Cinnamon essential oil is widely used as a raw material in the food industry due to its flavor and aroma. Traditional physical-chemical methods demand time, reagents, qualified people, equipment and high investment costs, so the electronic nose emerged as an analysis alternative, presenting a low-cost technique and quick response. Thus, the objective of this work is the application of the electronic nose in the detection of volatile compounds of cinnamon essential oil from an arrangement of polymeric nanocomposite sensors with different sensor layers (PANI and PANI/GO). The electronic nose response was characterized in terms of sensitivity, reversibility and limit of detection. The sensors were exposed to different concentrations of cinnamon essential oil in increasing order of concentration; all sensors were able to distinguish the different concentrations, showing good response in the detection of cinnamon essential oil. The PANI/GO sensor showed higher sensitivity and lower detection limit. As for the reversibility for both sensors, they were above 90%. In view of the results obtained, the electronic nose proved to be an alternative for the analysis of the detection of volatile compounds in cinnamon essential oil, with potential application in the industry.

Keywords: Essential oil, Electronic nose, Sensors, Sensory layers.



INTRODUÇÃO

Os óleos essenciais é um produto proveniente do metabolismo secundário dos vegetais, são amplamente estudados e utilizados devido às suas características de sabor, fragrância e atividades biológicas, podendo ser aplicadas em diferentes áreas (CASTRO *et al.*, 2020).

O gênero *Cinnamomum* compreende mais de 250 espécies, incluindo *Cinnamomum cassia* também conhecida como canela falsa. Diferentes partes da canela podem ser utilizadas para a produção de óleo essenciais, como raízes, casca, folhas, galhos e frutos (MUHAMMAD; DEWETTINCK, 2017). O consumo de canela e/ou óleo essencial está relacionado aos benefícios proporcionados à saúde, como atividade antimicrobiana (BARBOSA *et al.*, 2021), antioxidante (MUHAMMAD *et al.*, 2017) e anticancerígena (DUGUTA; CHERIYAN, 2021), e no controle da glicose no diabetes (CARDOSO *et al.*, 2019) podendo ser utilizada em alimentos, condimentos, cosméticos e medicamentos, na forma de material inteiro, moído, extratos ou óleos essenciais obtidos das folhas e cascas.

Diferentes técnicas são usadas para a detecção de compostos voláteis em óleos essenciais, as mais tradicionais incluem técnicas físicas, químicas, cromatografia e análise sensorial, as quais necessitam de pessoas treinadas, além de ser destrutivas, baixo rendimento amostral, caras e demoradas (BOUNAAS *et al.*, 2018). Desse modo, novos métodos mais baratos, de fácil operação, precisos e rápidos para a detecção de compostos voláteis, qualidade e classificação dos óleos essenciais se fazem necessário (GRABOSKI, 2020).

Assim, como alternativa a esses métodos surge o nariz eletrônico, o qual avalia e classifica as amostras com base em impressões digitais ou padrões resultantes de seus componentes voláteis (GORJI-CHAKESPARI *et al.*, 2017). O sistema utiliza um conjunto de eletrodos recobertos por uma camada ativa que interagem com os compostos voláteis, esse conjunto possui especificidade parcial e

seletividades que se sobrepõem para diferentes moléculas, gerando assim uma determinada resposta, que pode ser medida em função da mudança de algum parâmetro físico, como por exemplo, a condutividade (GORJI-CHAKESPARI *et al.*, 2017; GRABOSKI, 2020).

Os sensores podem utilizar como camada sensível os polímeros condutores, dos quais destaca-se a polianilina (PANI). Apresentando elevada condutividade, boa estabilidade ambiental e propriedades eletro-ópticas (LAI *et al.*, 2016). Somente o estado esmeraldina após o processo de dopagem transforma-se em sal esmeraldina que é a forma condutora deste polímero (MENDES *et al.*, 2011; TANGUY *et al.* 2018).

A polimerização do monômero anilina pode ser química ou eletroquímica (LAI *et al.*, 2016). Em seguida ocorre a deposição, que é responsável por transferir a dispersão ou material compósito do seu estado inicial para um substrato desejado, como por exemplo o papel vegetal. Várias técnicas de deposição podem ser utilizadas para a deposição dos filmes sensíveis, uma das técnicas é a polimerização *in situ*, onde ao mesmo tempo que ocorre a polimerização do monômero, ocorre a deposição do filme sobre o substrato (KANOUN *et al.*, 2014; MACDIARMID; EPSTEIN, 1989).

Os métodos de polimerização *in situ* podem envolver a mistura de nanomaterial juntamente com o monômero puro, seguida de polimerização na presença dos nanomateriais dispersos dando origem assim aos nanocompósitos poliméricos (POTTS *et al.*, 2011; GUO *et al.*, 2014).

Um dos materiais que podem ser adicionado ao polímero condutor é o grafeno, porém é difícil de se obter. Assim, pesquisadores desenvolveram várias metodologias para produzir suspensões estáveis derivado do grafeno 2D, o óxido de grafeno (GO), com inserção de grupos hidroxila, carboxila e epóxi na rede de camadas de grafeno facilitando o manuseio desses nanomateriais (TANGUY *et al.*, 2018). O desenvolvimento de compósitos de PANI e

GO tendem a unir as propriedades de cada material e obter um compósito com melhor desempenho em comparação com os originais.

Desse modo o objetivo do trabalho é a aplicação do nariz eletrônico na detecção dos compostos voláteis do óleo essencial da canela (OEC) a partir de um arranjo de sensores de nanocompósitos poliméricos com diferentes camadas sensoras (PANI e PANI/GO).

MATERIAL E MÉTODOS

Desenvolvimento dos Eletrodos Interdigitados de Grafite

Os eletrodos interdigitados de grafite foram elaborados utilizando a técnica de formação de trilhas “*line patterning*”, seguindo a metodologia de (VENANCIO *et al.*, 2008) e (STEFFENS, C. *et al.*, 2012) utilizando como substrato o papel vegetal.

Síntese, Dopagem e Deposição do Filme de Polianilina

A síntese utilizada foi a técnica *in situ* de acordo com metodologia de Steffens *et al.* (2009). Nesta síntese resumidamente o monômero anilina, será oxidado utilizando solução HCl (1M) como dopante, obtendo-se assim a polianilina no estado de sal esmeraldina. Para realização da síntese primeiramente duas soluções devem ser preparadas:

Solução A: em um erlenmeyer 198 μ l de anilina (Sigma Aldrich 99,5 %) destilada a vácuo, deve ser adicionado em 66 ml de HCl (1M).

Solução B: em um erlenmeyer 0,498 g de persulfato de amônio (Sigma-Aldrich, 98 %) deve ser adicionado em 33 ml de HCl (1M).

Nanocompósitos PANI/GO

O óxido de grafeno (GO) utilizado foi gentilmente cedido pelo Instituto de Física da USP, São Carlos/SP e pelo Grupo de Nanociências e Nanotecnologia (Nano) da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Juiz de Fora/MG. O mesmo foi sintetizado utilizando o processo de esfoliação química pelo método de Hummers modificado (LIMA

et al., 2017), diluído em água encontrando-se em uma concentração de 5 mg.ml⁻¹.

Para a elaboração dos nanocompósitos de PANI/GO, baseou-se em alguns parâmetros fornecidos no estudo de (WU *et al.*, 2013), utilizando polimerização *in situ*.

Solução A: em um erlenmeyer contendo 198 μ l de anilina, 500 μ l de GO (na concentração de 5 mg.ml⁻¹) e 66 ml de HCl 1M foi preparada, mantidas sob agitação magnética e banho de gelo (0 °C), quando atingida esta temperatura deixou-se a mesma agitando por mais 30 min.

Solução B: em um erlenmeyer 0,498 g de persulfato de amônio em 33 ml de HCl (1M) foi preparada e mantida em banho de gelo até atingir a temperatura de 0 °C.

Estas soluções (A e B) foram resfriadas, utilizando um recipiente contendo gelo até as duas soluções atingirem a temperatura de 0 °C.

Atingida a temperatura, dentro de um béquer de 250 ml contendo os eletrodos (5 aproximadamente) os quais devem foram fixos em uma folha de polietileno tereftalato verteu-se a solução de oxidante (Solução B) sobre a solução de monômero (Solução A) sob agitação magnética (Fisatom 752A), a 0 °C por 100 min, sendo que assim no próprio meio reacional da síntese e dopagem da polianilina já será formado o filme da mesma sobre o eletrodo.

Após 100 min de reação, retirou-se os sensores do béquer e lavou-se os mesmos com HCl (1M) em abundância para retirada do excesso de solução de polimerização. Os sensores foram acondicionados em dessecador a vácuo até completa secagem, para posteriormente ser utilizados no arranjo de sensores do nariz eletrônico.

Nariz Eletrônico

O sistema de nariz eletrônico foi operado a uma temperatura de 45 °C, com umidade ambiente (\pm 30-40 %). As amostras foram inseridas na câmara de amostragem e submetidas a agitação magnética de 33 rpm. Os compostos voláteis das amostras da câmara de amostragem foram arrastados para a câmara sensível por um fluxo de ar a 100 ml.min⁻¹ gerado pela bomba, conforme Figura 1.

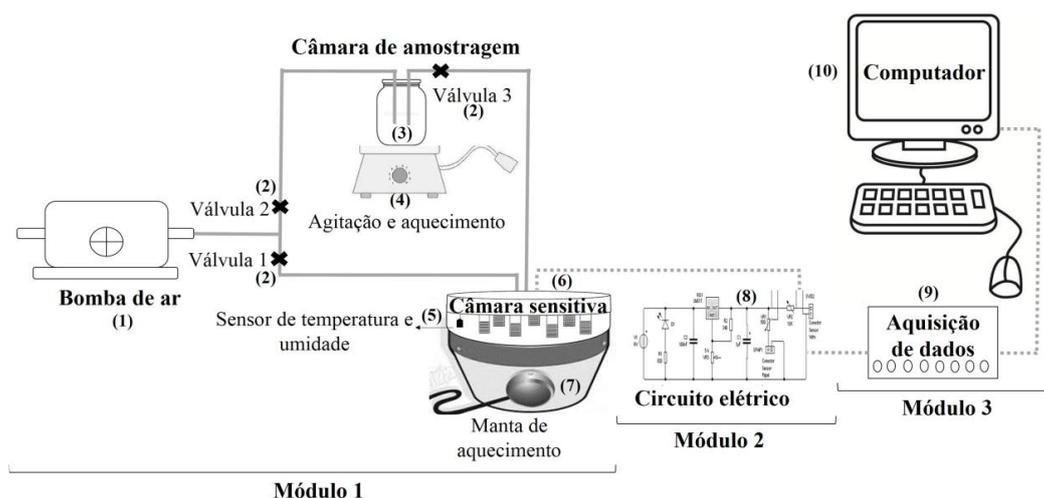


Figura 1: Representação esquemática do sistema de nariz eletrônico.

Obtenção da Resposta de Detecção do Óleo Essencial de Canela Pelo Nariz Eletrônico

O procedimento para a detecção dos compostos voláteis do OEC utilizando o arranjo de sensores seguiu algumas etapas, as quais são descritas a seguir:

Linha de base: Para obtenção da linha de base (resposta do arranjo de sensores de gases quando expostos a ar sintético (White Martins, 99 % de pureza, Brasil), o sistema de aquecimento foi ajustado à 45 °C, com a ajuda de uma manta térmica, um fluxo de ar de 100 ml/min gerado pela bomba, sendo que as válvulas de entrada e saída de ar da câmara de amostragem (válvulas 2 e 3) eram fechadas e abria-se a válvula (1) do fluxo de ar direto para a câmara sensível (arranjo de sensores). Quando a temperatura de 45 °C foi atingida o sistema de aquisição de dados foi acionado e as tensões dos sensores coletadas a cada 10 s por 180 s obtendo-se assim a linha de base.

Aquisição da resposta aos compostos voláteis do óleo essencial de canela: Após obtenção da linha de base, foi avaliada a resposta do arranjo de sensores de gases aos compostos voláteis da amostra estudada. Na câmara de amostragem, uma concentração de óleo essencial de canela (0,1; 0,5; 1; 5; 10; 50; 100; 500; 1000; 3000; 5000 e 800 ppm) foram inseridos no frasco de amostragem com a ajuda de um pipetador (Transferpette S D-1000 100-1000 µl, Brand, Brasil) em ordem crescente de concentração. As válvulas 2 (de entrada) e 3 (de saída) de ar da câmara de amostragem foram abertas e a válvula 1 do fluxo de ar direto

foi fechada, fazendo com que os voláteis fossem encaminhados para a câmara sensível. As tensões eram coletadas a cada 10 s durante 50 s, neste curto tempo esgotavam-se os voláteis das amostras dentro da câmara sensível pelo fato do fluxo de ar ser contínuo e os sensores acabavam voltando a sua linha de base.

Retorno a linha de base: Após decorrido os 50 s de exposição aos compostos voláteis as válvulas 2 e 3 foram fechadas e abriu-se a válvula 1 para entrada do fluxo de ar por um tempo de 240 s.

Caracterização das Respostas Obtidas Com o Uso do Nariz Eletrônico

Sensitividade linear: A sensitividade linear demonstra a variação da resposta em função da concentração do analito e é expressa pelo coeficiente angular da curva analítica (PASCHOAL *et al.*, 2008). A sensitividade linear é portanto, a razão entre a inclinação da curva de calibração e o desvio padrão do sinal analítico a uma dada concentração deste analito e é dependente da concentração (SKOOG *et al.*, 2004).

Limite de detecção: O limite de detecção (LD), é apontado como a menor concentração que pode ser distinguida com um certo nível de confiança. Ele é definido como a concentração analítica que gera uma resposta com um fator de confiança K superior ao desvio padrão do branco (S_b), de acordo com a Equação 1.

$$LD = \frac{KS_b}{SL} \quad (1)$$

Reversibilidade: A reversibilidade (η) é a capacidade dos sensores em voltarem à sua condição inicial de tensão da linha de base depois de interrompida a interação com a amostra em estudo (JANATA, 2009). A partir dos dados de tensões coletadas as reversibilidades foram calculadas de acordo com a Equação 2 (STEFFENS *et al.*, 2009).

$$\eta(\%) = \frac{(t-t_r)}{(t-t_0)} \times 100 \quad (2)$$

RESULTADOS

Respostas de Detecção do Nariz Eletrônico a Diferentes Concentrações de OEC

Os sensores do nariz eletrônico foram expostos as concentrações de 0,1; 0,5; 1; 5; 10; 50; 100; 500; 1000; 3000; 5000 e 800 ppm, em ordem crescente de concentração de OEC, conforme Figura 1. Todos os experimentos foram realizados a uma temperatura de 45 °C (± 2).

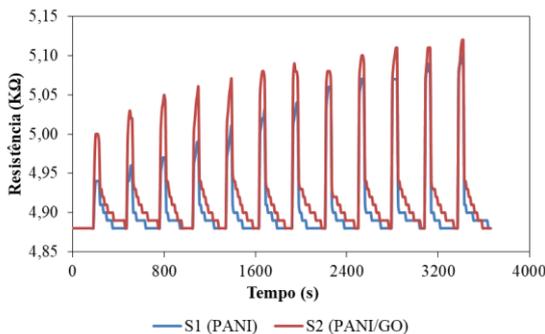


Figura 2: Resposta dos sensores a diferentes concentrações de OEC.

Na Figura 2 verifica-se que todos os sensores de gases conseguiram distinguir as diferentes concentrações de OEC, onde houve o aumento dos valores das tensões até a sua estabilização e conforme os compostos voláteis se esgotavam dentro da câmara de amostragem, os sensores retornavam a seus valores de linha de base.

Sensitividade linear e limite de detecção: A sensitividade linear (Figura 3) foi calculada para cada sensor de gás, por meio do coeficiente angular da reta da curva de

calibração obtida por meio do sinal de tensão máxima *versus* a concentração de OEC. A partir desta sensitividade linear foi calculado o limite de detecção utilizando o valor da linha base mais o múltiplo do desvio padrão (o qual foi utilizado o 3, pois implica em um nível de confiança de 98 %) (ANVISA, 2003; SKOOG *et al.*, 2004).

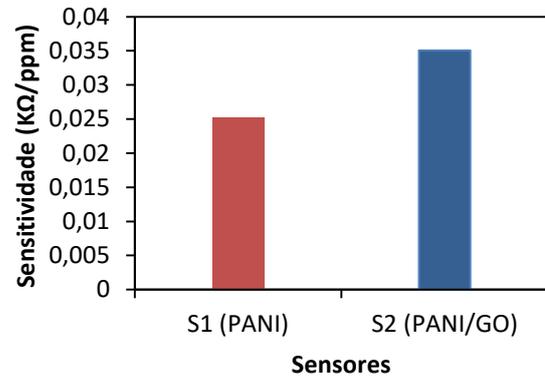


Figura 3: Valores de sensitividade linear dos sensores.

As sensitividades lineares encontradas apresentaram um coeficiente de correlação de Pearson (R), acima de 0,99 para todos os sensores.

A maior sensitividade linear foi para o sensor S2 (PANI/GO). Vale salientar que quanto maiores os valores de sensitividades, mais sensíveis são os sensores e melhores são suas respostas (SKOOG *et al.*, 2004).

Os limites de detecção (Figura 4) encontrados neste estudo foram de 0,7632 e 0,3769 ppm, para S1 e S2 respectivamente, visto que quanto menores os valores de limites de detecção, maiores as concentrações mínimas que o sensor consegue detectar. Sendo que o sensor S2 com PANI/GO apresentou o melhor valor.

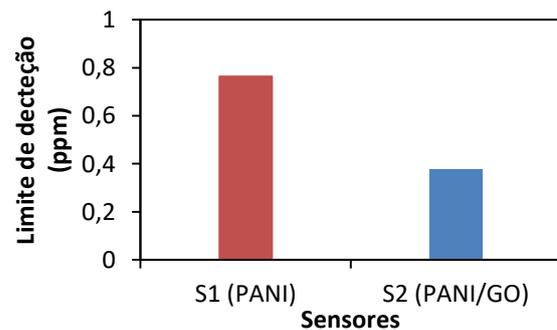


Figura 4: Valores do limite de detecção dos sensores.

Portanto, sensores com maiores sensibilidades e menores limites de detecção, são considerados mais adequados na detecção de voláteis (ANVISA, 2003; SKOOG *et al.*, 2004; IUPAC, 2014).

Reversibilidade: Em relação a reversibilidade todos os sensores demonstraram reversibilidades acima de 90 %, após 5 ciclos de exposição a concentração de 5,0 ppm de OEC (Figura 5).

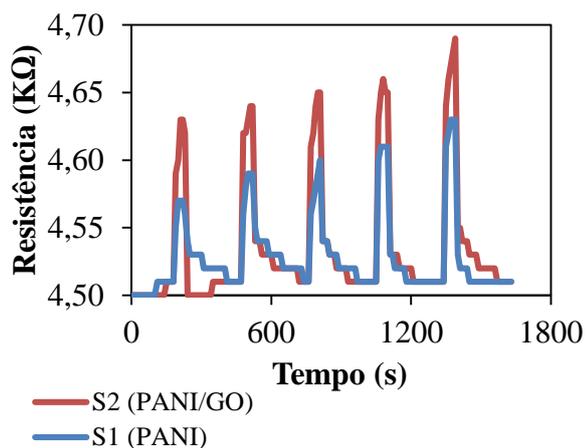


Figura 5: Reversibilidade dos sensores de gases expostos ao OEC.

A reversibilidade é a capacidade dos sensores em voltarem ao seu estado inicial depois de expostos a um determinado gás (STEFFENS *et al.*, 2009), por isso é um dos parâmetros mais importantes na avaliação do desempenho dos sensores de gases. Sendo que foi observada uma boa reversibilidade dos sensores de gases. Os filmes sensitivos sofreram portanto uma mudança física e/ou química reversível em parte em todos os ciclos avaliados (ARSHAK *et al.*, 2004).

Os resultados de reversibilidade encontrados indicam que os sensores apresentaram reversibilidades satisfatórias, sendo que houve perdas do sinal elétrico durante os sucessivos ciclos realizados, para todos os sensores testados.

CONCLUSÃO

Os resultados encontrados comprovam que o nariz eletrônico foi eficiente na detecção dos compostos voláteis do OEC, apresentando distinção nas diferentes concentrações

avaliadas, assim como uma boa sensibilidade e limite de detecção.

Dentre os sensores utilizados o S2 apresentou maior valor de sensibilidade, por consequência menor valor de limite de detecção tornando-o mais adequado na detecção dos compostos voláteis de OEC.

NOMENCLATURA

- %- Porcentagem
- °C- Grau Celsius
- μl- Microlitro
- η- Reversibilidade
- g- Gramas
- GO- Óxido de grafeno (do inglês *Graphene Oxide*)
- HCl- Ácido clorídrico
- K- Fator de confiança
- LD- Limite de detecção
- min- Minutos
- mg- Miligramas
- ml- Mililitros
- OEC- Óleo essencial de canela
- PANI- Polianilina
- ppm- Partes por milhão
- R- Coeficiente de Pearson
- rpm- Rotações por minuto
- s- Segundos
- S1- Sensor 1
- S2- Sensor 2
- S_b- Desvio padrão do branco
- SL- Sensitividade linear
- t- Tensão após exposição da amostra
- t₀- Tensão inicial do sensor
- t_f- Tensão final do sensor

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). Resolução RE no 899, de 29 de maio de 2003. p. 1–15, 2003.
- ARSHAK, K.; MOORE, E.; LYONS, G. M.; HARRIS, J.; CLIFFORD, S. (2004), A review of gas sensors employed in electronic nose applications. *Sensor Review*, v. 24, n. 2, p. 181–198.
- BARBOSA, R. F. da S.; YUDICE, E. D. C.; MITRA, S. K.; ROSA, D. dos S. (2021), Characterization of rosewood and Cinnamon Cassia essential oil polymeric capsules: stability, loading efficiency,

- release rate and antimicrobial properties. *Food Control*, v. 121, p. 107605.
- BOUNAAS, K.; NOUZIDI, N.; DAGHBOUCHE, Y.; GARRIGUES, S.; DE LA GUARDIA, M.; EL HATTAB, M. (2018), Essential oil counterfeit identification through middle infrared spectroscopy. *Microchemical Journal*, v. 139, p. 347–356.
- CARDOSO, R. de O.; GANCEDO, N. C.; DEFANI, M. A. (2019), Efeito hipoglicemiante da canela (*Cinnamomum* sp.) e pata-de-vaca (*Bauhinia* sp.): revisão bibliográfica. *Arquivos do Mudi*, v. 23, n. 3, p. 399–412.
- CASTRO, C. C. De; SILVA, A. R. C. da; FRANCO, C. de J. P.; SIQUEIRA, G. M.; CASCAES, M. M.; NASCIMENTO, L. D. do; ANDRADE, E. H. de A. (2020), Caracterização química do óleo essencial das folhas, galhos e frutos de *Cinnamomum verum* J. Presl (Lauraceae). *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 6, p. 41320–41333.
- DUGUTA, T.; CHERIYAN, B. V. (2021), An introduction and various phytochemical studies of *Cinnamomum Malabatrum*: a brief review. *Pharmacognosy Journal*, v. 13, n. 3, p. 792–797.
- GORJI-CHAKESPARI, A.; NIKBAKHT, A. M.; SEFIDKON, F.; GHASEMI-VARNAMKHAZI, M.; VALERO, E. L. (2017), Classification of essential oil composition in *Rosa damascena* Mill. genotypes using an electronic nose. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, v. 4, p. 27–34.
- GRABOSKI, A. M. (2020), Desenvolvimento de nariz eletrônico aplicado na detecção de óleo essencial de Cravo-da-Índia (*Eugenia caryophyllata*). PPGEAL/URI - Erechim- RS. 153p. (tese de doutorado).
- GUO, Q.; GHADIRI, R.; WEIGEL, T.; AUMANN, A.; GUREVICH, E.; ESEN, C.; MEDENBACH, O.; CHENG, W.; CHICHKOV, B.; OSTENDORF, A. (2014), Comparison of in situ and ex situ methods for synthesis of two-photon polymerization polymer nanocomposites. *Polymers*, v. 6, n. 7, p. 2037–2050.
- IUPAC. (2014), Compendium of chemical terminology gold book.
- JANATA, J. (2009), Introduction to sensors. In: Principles of chemical sensors. 2. ed. Boston, MA: Springer US, p. 1–11.
- KANOUN, O.; MÜLLER, C.; BENCHIROUF, A.; SANLI, A.; DINH, T.; AL-HAMRY, A.; BU, L.; GERLACH, C.; BOUHAMED, A. (2014), Flexible carbon nanotube films for high performance strain sensors. *Sensors*, v. 14, n. 6, p. 10042–10071.
- LAI, J.; YI, Y.; ZHU, P.; SHEN, J.; WU, K.; ZHANG, L.; LIU, J. (2016), Polyaniline-based glucose biosensor: A review. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, v. 782, p. 138–153.
- LIMA, A. H.; MENDONÇA, J. P.; DUARTE, M.; STAVALE, F.; LEGNANI, C.; DE CARVALHO, G. S. G.; MACIEL, I. O.; SATO, F.; FRAGNEAUD, B.; QUIRINO, W. G. (2017), Reduced graphene oxide prepared at low temperature thermal treatment as transparent conductors for organic electronic applications. *Organic Electronics*, v. 49, p. 165–173.
- MACDIARMID, A. G.; EPSTEIN, A. J. (1989), Polyanilines: a novel class of conducting polymers. *Faraday Discussions of the Chemical Society*, v. 88, p. 317.
- MENDES, L. C.; FALCO, A. P. S.; PINHO, M. S.; MARQUES, P. O. (2011), Sulfonated polyaniline: influence of sulfonation routes on its thermal and structural characteristics. *Materials Research*, v. 14, n. 4, p. 466–471.
- MUHAMMAD, D. R. A.; DEWETTINCK, K. (2017), Cinnamon and its derivatives as potential ingredient in functional food—a review. *International Journal of Food Properties*, p. 1–27.
- MUHAMMAD, D. R. A.; PRASEPTIANGGA, D.; DE WALLE, D. V.; DEWETTINCK, K. (2017), Interaction between natural antioxidants derived from cinnamon and cocoa in binary and complex mixtures. *Food*

- Chemistry*, v. 231, p. 356–364.
- PASCHOAL, J. A. R.; RATH, S.; AIROLDI, F. P. da S.; REYES, F. G. R. (2008), Validação de métodos cromatográficos para a determinação de resíduos de medicamentos veterinários em alimentos. *Química Nova*, v. 31, n. 5, p. 1190–1198.
- POTTS, J. R.; DREYER, D. R.; BIELAWSKI, C. W.; RUOFF, R. S. (2011), Graphene-based polymer nanocomposites. *Polymer*, v. 52, n. 1, p. 5–25.
- SKOOG, D. A.; WEST, D. M.; HOLLER, F. J.; CROUCH, S. R. (2004), Fundamentals of analytical chemistry. *Anal. Chem.*, v. 398, p. 27–28.
- STEFFENS, C. (2009), Desenvolvimento e caracterização de sensores de gases em nariz eletrônico para avaliação de compostos orgânicos voláteis com potencial aplicação no amadurecimento de frutas. Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões Campus Erechim.
- STEFFENS, C.; CORAZZA, M. L.; FRANCESCHI, E.; CASTILHOS, F.; HERRMANN, P. S. P.; OLIVEIRA, J. V. (2012), Development of gas sensors coatings by polyaniline using pressurized fluid. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, v. 171–172, p. 627–633.
- TANGUY, N. R.; THOMPSON, M.; YAN, N. (2018), A review on advances in application of polyaniline for ammonia detection. *Sensors and Actuators B: Chemical*, v. 257, p. 1044–1064.
- VENANCIO, E. C.; MATTOSO, L. H. C.; HERRMANN JÚNIOR, P. S. D. P.; MACDIARMID, A. G. (2008), Line patterning of graphite and the fabrication of cheap, inexpensive, “throw-away” sensors. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, v. 130, n. 2, p. 723–729.
- WU, Z.; CHEN, X.; ZHU, S.; ZHOU, Z.; YAO, Y.; QUAN, W.; LIU, B. (2013), Enhanced sensitivity of ammonia sensor using graphene/polyaniline nanocomposite. *Sensors and Actuators B: Chemical*, v. 178, p. 485–493.