

A descrição matemática da detecção eletroanalítica da metaqualona, baseada na sua eletrooxidação sobre o compósito da poli(5-amino-1,4-naftoquinona) com o oxihidróxido de cobalto

Volodymyr V. Tkach^{1,2*}, Marta V. Kushnir¹, Sílvio C. de Oliveira², Adriano O. da Silva³, Yana G. Ivanushko⁴, Bohdana Yu. Banul⁴, Tetiana V. Honchar⁴, Petro I. Yagodynets¹, Olga V. Luganska⁵, Zholt O. Kormosh⁶, José I. F. Martins⁷, Vira M. Odyntsova⁸, Mykola P. Krasko⁸, Necdet Karakoyun⁹

¹ Universidade Nacional de Chernivtsi, 58012, Rua de Kotsyubyns'ky, 2, Chernivtsi, Ucrânia.

² Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Av. Sen. Felinto. Müller, 1555, C/P. 549, 79074-460, Campo Grande, MS, Brasil.

³ Universidade Federal do Oeste do Pará, Campus Juruti, 68170 – 000, Rua Veríssimo de Souza Andrade, s/n, Juruti, PA, Brasil.

⁴ Universidade Estatal de Medicina de Bucovina, 58000, Praça Teatral, 9, Chernivtsi, Ucrânia.

⁵ Universidade Nacional de Zaporizhzhya, Faculdade de Biologia, 69095, Rua de Zhukovs'ky, 66, Zaporizhzhya, Ucrânia.

⁶ Universidade Nacional de Volyn, Lutsk, Ucrânia, 43000, Av. da Liberdade, 13, Lutsk, Ucrânia.

⁷ Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 4200-465, Rua Dr. Roberto Frias, s/n, Porto, Portugal.

⁸ Universidade Estatal de Medicina de Zaporizhzhia, 69600, Av. de Mayakovsky, 24, Zaporizhzhia, Ucrânia.

⁹ Universidade Yüzüncü Yil de Vâ, 65090, Bardakçi, Vâ, Turquia.

*Correio eletrônico: nightwatcher2401@gmail.com

Recebido: 19 de fevereiro de 2022

Revisado: 23 de fevereiro de 2023

Aceto: 26 de fevereiro de 2023

RESUMO

Introdução: metaqualona é um fármaco calmante, geralmente usado para substituir barbituratos, já que não possui efeitos colaterais, que eles provocam, causando, entretanto, os seus próprios – e bastante significativos. A sua realização depende fortemente da dose aplicada, razão por que a medição da sua concentração é atual.

Metodologia: pela primeira vez, o comportamento do sistema com a determinação eletroanalítica da metaqualona em meio básico sobre o eletrodo, modificado pelo composto da poli(5-amino-1,4-naftoquinona) com o oxihidróxido de cobalto, tem sido descrito teoricamente. O modelo matemático correspondente foi desenvolvido e analisado mediante a teoria de estabilidade lineal e análise de bifurcações.

Resultados: como a função iônica do produto de reação se opõe à função iônica do reagente, o comportamento oscilatório aumentará a sua probabilidade de realização, haja vista as mudanças bruscas na estrutura e força iônica da dupla camada eléctrica (DCE). Não obstante, o composto poli(5-amino-1,4-naftoquinona)/CoO(OH) é um modificador eficiente para a detecção da metaqualona, o que se pode mostrar com o modelo. **Conclusão:** o composto poli(5-amino-1,4-naftoquinona)/CoO(OH) pode ser um modificador eficaz para a detecção electroquímica da metaqualona em meio básico.

Palavras-chave: Metaqualona, sensor electroquímico, polímeros condutores, poli(-5-amino-1,4-naftoquinona), oxihidróxido de cobalto, oscilações electroquímicas, estado estacionário estável.

SUMMARY

The mathematical description of the electroanalytical detection of methaqualone, based on its electrooxidation on the composite of poly(5-amino-1,4-naphthoquinone) with cobalt oxyhydroxide

Introduction: methaqualone is a calming drug, generally used to replace barbiturates, since it does not have side effects, which they cause, causing, however, their own – and quite significant ones. Its performance strongly depends on the applied dose, which is why the measurement of its concentration is current. **Methodology:** for the first time, the behavior of the system with the electroanalytical determination of methaqualone in basic medium on the electrode, modified by the composite of poly(5-amino-1,4-naphthoquinone) with cobalt oxyhydroxide, has been theoretically described. The corresponding mathematical model was developed and analyzed

using linear stability theory and bifurcation analysis. **Results:** as the ionic function of the reaction product is opposed to the ionic function of the reactant, the oscillatory behavior will increase its probability of realization, given the sudden changes in the structure and ionic strength of the electrical double layer (ECD). Nevertheless, the poly(5-amino-1,4-naphthoquinone)/CoO(OH) composite is an efficient modifier for methaqualone detection, which can be shown with the model. **Conclusion:** the poly(5-amino-1,4-naphthoquinone)/CoO(OH) composite can be an effective modifier for the electrochemical detection of methaqualone in basic medium.

Keywords: Methaqualone, electrochemical sensor, conductive polymers, poly(5-amino-1,4-naphthoquinone), cobalt oxyhydroxide, electrochemical oscillations, stable steady state.

RESUMEN

Descripción matemática de la detección electroanalítica de metacualona, basada en su electrooxidación en el compuesto de poli(5-amino-1,4-naftoquinona) con oxihidróxido de cobalto

Introducción: la metacualona es una droga calmante, generalmente utilizada en reemplazo de los barbitúricos, ya que no tiene los efectos secundarios que éstos provocan, provocando, sin embargo, los suyos propios y bastante significativos. Su rendimiento depende fuertemente de la dosis aplicada, por lo que la medida de su concentración es actual. **Metodología:** por primera vez se ha descrito teóricamente el comportamiento del sistema con la determinación electroanalítica de metacualona en medio básico sobre el electrodo, modificado por el composite de poli(5-amino-1,4-naftoquinona) con oxihidróxido de cobalto. . El modelo matemático correspondiente se desarrolló y analizó utilizando la teoría de la estabilidad lineal y el análisis de bifurcación. **Resultados:** como la función iónica del producto de reacción se opone a la función iónica del reactivo, el comportamiento oscilatorio aumentará su probabilidad de realización, dados los cambios repentinos en la estructura y fuerza iónica de la doble capa eléctrica (ECD). Sin embargo, el compuesto de poli(5-amino-1,4-naftoquinona)/CoO(OH) es un modificador eficaz para la detección de metacualona, lo que se puede demostrar con el modelo. **Conclusión:** el compuesto poli(5-amino-1,4-naftoquinona)/CoO(OH) puede ser un modificador efectivo para la detección electroquímica de metacualona en medio básico.

Palabras clave: Metacualona, sensor electroquímico, polímeros conductores, poli(5-amino-1,4-naftoquinona), oxihidróxido de cobalto, oscilaciones electroquímicas, estado estacionario estable.

INTRODUÇÃO

metaqualona (Fig. 1), ou seja, 2-metil-3-o-tolil-4(3H)-quinazolona (massa molar 250, 3 g/mol, número CAS 72-44-6) é um fármaco sedativo e hipnótico [1-4], frequentemente usado em pílulas para dormir como substituinte de barbituratos, já que não tinha efeitos colaterais, característicos para estes. Ela ainda pode ser aplicada nos EUA, em Portugal e no Brasil, não só como sedativo, mas também para lenir dores moderadas e fortes [5, 6]

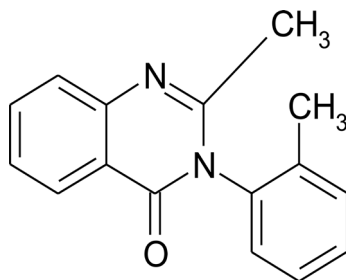


Figura 1. Metaqualona.

Embora a metaqualona ainda se possa usar amplamente em países mencionados, os seus efeitos colaterais [7-10] fazem com que ela seja proibida em alguns países do Leste Europeu. Estes efeitos colaterais são delírio, convulsões, hipertonia, hiperreflexia, vômito, falha renal, parada cardíaca e respiratória. Outrossim, a dose de 8 gramas é considerada letal, e o uso excessivo do fármaco ou o seu uso acompanhado à intoxicação alcoólica, pode levar ao coma. Destarte, o desenvolvimento dos métodos da análise da metaqualona é uma tarefa realmente atual [11-15], e os métodos eletroanalíticos dar-lhe-iam uma solução interessante.

Possuindo grupos, capazes de oxidar e reduzir, a metaqualona pode ser facilmente detectada por médio eletroquímico [16-18]. Ao ser usado um oxidante bastante forte, como o oxihidróxido de cobalto, pareado com o dióxido de cobalto em meio alcalino, o átomo de nitrogénio piridínico tende a ser N-oxidado, assim como os grupos metilo. Assim, o nitrogénio tornar-se-á menos básico, e os grupos metila oxidar-se-ão até os carboxílicos. Destarte, a função iónica do produto em relação ao próprio fármaco será alterada, o que poderá causar instabilidades electroquímicas, já características para este tipo de processos eletroanalíticos [19-24].

Assim, o objetivo geral deste trabalho é a descrição teórica do sistema com a eletrooxidação de metaqualona sobre um eletrodo, modificado pelo composto de poli(5-amino-1,4-naftoquinona) com o oxihidróxido de cobalto. Para a sua resolução, nós alcançamos objetivos específicos:

- Propor o mecanismo mais provável da realização do processo;
- Desenvolver o modelo, correspondente ao mecanismo;
- Analisado o modelo, derivar as condições de estabilidade do estado estacionário, bem como das instabilidades oscilatória e monotônica;
- Fazer conclusões acerca da eficiência eletroanalítica do processo e comparar o comportamento do sistema com o dos semelhantes [25-28].

O SISTEMA E O MODELO

No caso da oxidação da metaqualona, o oxihidróxido de cobalto age como redutor e, na etapa eletroquímica, se oxida, para formar o dióxido, que, por sua vez, é um oxidante bastante poderoso. Ele, por sua vez, oxida os grupos metila para os grupos carboxílicos, que, em meio básico, transformam-se em sais. Esquemáticamente, o processo da oxidação será descrito conforme na Fig. 2:

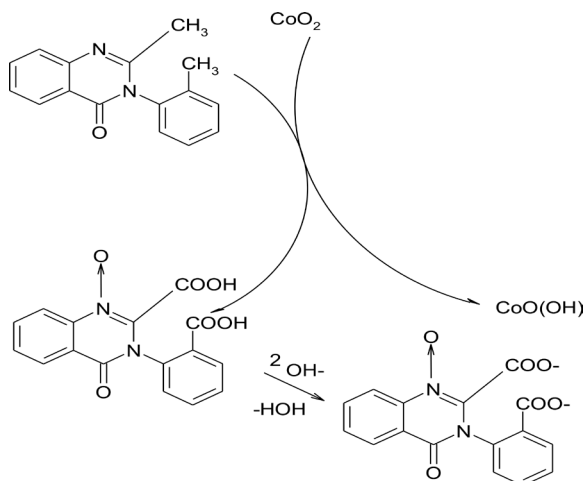
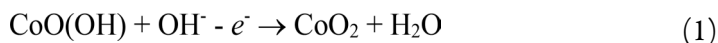


Figura 2. Esquema do processo eletroanalítico.

Haja vista que a etapa eletroquímica se realiza mediante a oxidação na presença da hidroxila (1):



para descrever o comportamento deste sistema eletroanalítico, ser-nos-á necessário introduzir três variáveis:

m – a concentração da metaqualona na camada pré-superficial;

a – a concentração da base na camada pré-superficial;

c – o grau de recobrimento da superfície de eléctrodo pelo dióxido de cobalto.

Para simplificar a modelagem, supomos que o reator esteja sob agitação intensa (destarte, podemos menosprezar o fluxo de convecção), que o eletrólito de suporte esteja em excesso (destarte, podemos menosprezar o fluxo de migração). Outrossim, supomos que o perfil concentracional das substâncias na camada pré-superficial seja lineal, e a sua espessura, constante, igual a δ .

Diante do exposto, o comportamento do sistema será descrito por um conjunto de equações diferenciais (2), conforme:

$$\begin{cases} \frac{dm}{dt} = \frac{2}{\delta} \left(\frac{A}{\delta} (m_0 - m) - r_2 \right) \\ \frac{da}{dt} = \frac{2}{\delta} \left(\frac{A}{\delta} (a_0 - a) - r_2 - r_1 \right) \\ \frac{dc}{dt} = \frac{1}{c} (r_1 - r_2) \end{cases} \quad (2)$$

Aqui, m_0 e a_0 são concentrações da metaqualona e da base no interior da solução, A e Δ são coeficientes de difusão, C é a concentração superficial máxima do dióxido de cobalto, e os parâmetros r são as velocidades das etapas química e eletroquímica, que se podem calcular conforme (3 – 4):

$$r_2 = k_2 m c^6 a^2 \exp(-lma) \quad r_1 = k_1 (1 - c) a \exp\left(\frac{F\phi_0}{RT}\right) \quad (3 - 4)$$

Aqui, os parâmetros k são as constantes de velocidades das respectivas reações, l é o parâmetro, que relaciona a composição e a força iônica da dupla camada elétrica (DCE), F é o número de Faraday, j_0 é salto do potencial, relacionado ao potencial da carga zero, R é a constante universal de gases, e T , a temperatura absoluta.

Como se vê, neste sistema, a influência na condutividade e na força iônica dá-se não só pela etapa eletroquímica, mas também pela química. Outrossim, não só a concentração do próprio fármaco, mas também da base (e, conseqüentemente o pH) terá o seu impacto na estabilidade do sistema. Apesar disso, o composto de oxihidróxido

de cobalto com a poli(5-amino-1,4-naftoquinona) pode ser um modificador eficiente para a detecção da metaqualona, conforme descrito abaixo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para investigar o comportamento do sistema com a detecção eletroanalítica da metaqualona, assistida pelo composto $\text{CoO}(\text{OH}) - \text{Poli}(5\text{-hidroxi-1,4-naftoquinona})$, analisamos o conjunto de equações diferenciais de balanço (2), mediante a teoria de estabilidade linear. Os elementos estacionários da matriz funcional de Jacobi podem ser calculados como:

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \quad (5),$$

sendo:

$$a_{11} = \frac{2}{\delta} \left(-\frac{A}{\delta} - k_2 c^6 a^2 \exp(-lma) + lk_2 mc^6 a^2 \exp(-lma) \right) \quad (6)$$

$$a_{12} = \frac{2}{\delta} (-2k_2 c^6 a \exp(-lma) + lk_2 mc^6 a^2 \exp(-lma)) \quad (7)$$

$$a_{13} = \frac{2}{\delta} (-6k_2 mc^5 a^2 \exp(-lma)) \quad (8)$$

$$a_{21} = \frac{2}{\delta} (-k_2 c^6 a^2 \exp(-lma) + lk_2 mc^6 a^2 \exp(-lca)) \quad (9)$$

$$a_{22} = \frac{2}{\delta} \left(-\frac{A}{\delta} - 2k_2 c^6 a \exp(-lma) + lk_2 mc^6 a^2 \exp(-lma) - k_1(1-c) \exp\left(\frac{F\varphi_0}{RT}\right) \right) \quad (10)$$

$$a_{23} = \frac{2}{\delta} \left(-6k_2 mc^5 a^2 \exp(-lma) + k_1 a \exp\left(\frac{F\varphi_0}{RT}\right) - jk_1(1-c) a \exp\left(\frac{F\varphi_0}{RT}\right) \right) \quad (11)$$

$$a_{31} = \frac{1}{c} (-k_2 c^6 a^2 \exp(-lma) + lk_2 mc^6 a^2 \exp(-lma)) \quad (12)$$

$$a_{32} = \frac{1}{c} \left(-2k_2 c^6 a \exp(-lma) + lk_2 mc^6 a^2 \exp(-lma) + k_1(1-c) \exp\left(\frac{F\varphi_0}{RT}\right) \right) \quad (13)$$

$$a_{33} = \frac{1}{c} \left(-6k_2mc^5a^2 \exp(-lma) - k_1a \exp\left(\frac{F\varphi_0}{RT}\right) + jk_1(1-c)a \exp\left(\frac{F\varphi_0}{RT}\right) \right) \quad (14)$$

Observando os elementos da diagonal principal do jacobiano (6), (10) e (14), pode-se ver que a diagonal principal contém três elementos, capazes de serem positivos. Estes elementos descrevem a positiva conexão de retorno e, por conseguinte, a possibilidade da realização do *comportamento oscilatório*.

Além do elemento $jk_1(1-c)a \exp\left(\frac{F\varphi_0}{RT}\right) > 0$ se $j > 0$, que descreve as influências da etapa eletroquímica na DCE, características para os sistemas semelhantes [21-28], os dois elementos $lk_2mc^6a^2 \exp(-lma) > 0$ e $lk_2mc^6a^2 \exp(-lma) > 0$ e, que descrevem as influências da etapa química das concentrações tanto da metaqualona, como da base. Destarte, o comportamento oscilatório é mais provável que nos casos mais simples.

Vale a pena mencionar que a concentração da base está presente visivelmente em todos os elementos, que descrevem o comportamento oscilatório. Ou seja, a amplitude e frequência das oscilações far-se-ão dependentes do pH – quanto maior o valor, tanto menor a amplitude e maior a frequência das oscilações.

Quanto à *estabilidade do estado estacionário*, esta se define pelo critério Routh-Hurwitz. Evitando as expressões grandes, nós introduzimos novas variáveis, de modo que o determinante da matriz se descreve como (15):

$$\frac{4}{\delta^2 C} \begin{vmatrix} -\kappa_1 - E & -\Sigma & -P \\ -E & -\kappa_2 - \Sigma - \Lambda & E - P \\ -E & \Lambda - \Sigma & -P - E \end{vmatrix} \quad (15)$$

Abrindo os parênteses retos e aplicando a condição $\text{Det } J < 0$, saliente do critério, obtemos o requisito de estabilidade do estado estacionário, exposto sob a forma de (16):

$$-\kappa_1(\kappa_2P + \Lambda P + \kappa_2E + \Sigma E + \Lambda P + \Sigma E) - E(\kappa_2P - \Lambda P + \kappa_2E + \Lambda P - \Sigma E) < 0 \quad (16)$$

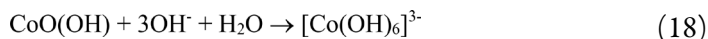
O que define um processo eletroanalítico eficiente, controlado tanto pela difusão, como pela cinética das reações. A região topológica, correspondente à estabilidade de estado estacionário far-se-á mais estreita que no caso mais simples [25 – 28], haja vista as influências mais expressas de ambas as reações sobre a dupla camada. No entretanto, esta região permanecerá vasta e, com o aumento de pH, até certo ponto, far-se-á ainda mais vasta. Assim, o aumento da concentração do álcali aumenta a eficiência de sensor da metaqualona.

A eficiência eletroanalítica deste sistema manter-se-á, ao serem tomadas as medidas de precaução, que se descreverão brevemente abaixo.

Os requisitos concernentes ao limite de detecção dão-se mediante a *instabilidade monotônica*. O seu ponto separa os estados estacionários estáveis e instáveis, e a sua condição se descreve conforme (17):

$$-\kappa_1(\kappa_2P + AP + \kappa_2E + \Sigma E + AP + \Sigma E) - \Xi(\kappa_2P - AP + \kappa_2E + AP - \Sigma E) = 0 \quad (17)$$

O presente modelo é válido para os valores de pH baixo médio e alto, mas não superior a 12,5. Neste caso, a oxidação de $\text{CoO}(\text{OH})$ far-se-á concorrente com a dissolução do oxihidróxido (18):



A dissolução do oxihidróxido de cobalto far-se-á sentir por meio das instabilidades superficiais e insuficiência eletroanalítica. Como no caso da metaqualona o polímero condutor não poderá assumir as funções de substância ativa na eletroanálise, realizar-se-á a perda de funções eletroanalíticas, que só se poderá recuperar mediante a deposição de nova camada do oxihidróxido de cobalto sobre o polímero. Este caso será descrito num dos nossos próximos trabalhos.

CONCLUSÕES

Da análise do sistema com a detecção eletroquímica da metaqualona foi possível concluir que:

- O comportamento eletroquímico deste sistema é altamente dependente do pH. Já o processo eletroanalítico far-se-á eficiente em meios leve, moderada e altamente (até certo ponto) básico;
- O processo é controlado tanto pela difusão (do analito e do álcali), como pela cinética das etapas química e eletroquímica;
- O comportamento oscilatório é mais provável que no caso mais simples, haja vista as influências da etapa química na força iônica da dupla camada.

AGRADECIMENTOS

Volodymyr V. Tkach agradece à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e à Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro o seu apoio nos tempos difíceis para a Ucrânia e a sua ciência.

CONFLITOS DE INTERESSE

Os autores declaram que não há conflito de interesses.

REFERÊNCIAS

1. M. Puckey, *Quaaludes*, Drugs. URL: <https://www.drugs.com/illicit/quaaludes.html>, acesso aos 23 de fevereiro de 2023
2. E.F. van Zyl, A survey of reported synthesis of methaqualone and some positional and structural isomers, *Forensic Sci. Int.*, **122**(2-3), 142-149 (2001).
3. J.B. Peng, H.Q. Geng, W. Wang, *et al.*, Palladium-catalyzed four-component carbonylative synthesis of 2,3-disubstituted quinazolin-4(3H)-ones: Convenient methaqualone preparation, *J. Catalysis*, **365**, 10-13 (2018).
4. M.C. Gerald, P.M. Schwirian, Nonmedical use of methaqualone, *Arch. Gen. Psychiatry*, **28**, 627-631 (1973).
5. Recommended methods for the identification and analysis of methaqualone/mecloqualone, for use by national drug analysis laboratories, United Nations Office on Drugs and Crime, Laboratory and Scientific Section, Vienna, 2010, 30 p. URL: https://www.unodc.org/documents/scientific/Methaqualone_ST_NAR_15_Rev1.pdf, acesso aos 23 de fevereiro de 2023
6. A.A. Grové, *The forensic analysis of illicit methaqualone-containing preparations by gas chromatography mass spectrometry*, M.Sc. Thesis, University of Pretoria, 2005.
7. S. Tenhouten, Family environment: Implications for sexual dysfunction and methaqualone dependence, *J. Psychoactive Drugs*, **18**, 73-75 (1986).
8. H. Yang, Y. Wang, J. Liu, *et al.*, The next addiction-causing drug class 4-quinazolinone derivatives: Analysis of methaqualone analogs including recently discovered 2-methoxyqualone by different modes of mass spectrometry, *Forensic Toxicol.*, **41**, 59-70 (2023).
9. H. Yang, Sh. Wang, H. Qi, *et al.*, 2-Methoxyqualone, a new recreational drug, discovered from a package seized by the police: A preliminary report, *Forensic Toxicol.*, **40**, 414-416 (2022).

10. I. Ahmad, R. Pawara, H. Patel, *In silico* toxicity investigation of methaqualone's conjunctival, retinal and gastrointestinal hemorrhage by molecular modeling approach, *Mol. Simul.*, **48**, 1639-1649 (2022).
11. A. Cruz, A. Bermejo, M. López-Rivadulla, P. Fernández, Simultaneous determination of methaqualone and diazepam in plasma by derivative spectroscopy, *Anal. Lett.*, **25**, 253-268 (1992).
12. R. Eker, S. Yilmaz, S. Yağmur, *et al.*, Voltammetric determination of clozapine from its drug form, *J. Sci. Perspect.*, **1**(2), 19-30 (2017).
13. J.A. Inger, E.R. Mihan, J. U. Kolli, *et al.*, DARK classics in chemical neuroscience: Methaqualone, *ACS Chem. Neurosci.*, **14**, 340-350 (2023).
14. I. Ahmad, S. R. Akand, M. Shaikh, *et al.*, Synthesis, molecular modeling study of the methaqualone analogues as anti-convulsant agent with improved cognition activity and minimized neurotoxicity, *J. Mol. Struct.*, **1251**, 131972 (2022).
15. N. German, A. Popov, A. Ramanaviciene, A. Ramanavicius, Enzymatic formation of polyaniline, polypyrrole, and polythiophene nanoparticles with embedded glucose oxidase, *Nanomaterials (Basel)*, **9**(5), 806 (2019).
16. Z. Liu, F. Liung, N. Zhang, Y. Liu, Preparation of manganese dioxide/polypyrrole composite by W/O miniemulsion and its electrochemical performance, *Int. J. Electrochem. Sci.*, **13**, 6584-6597 (2018).
17. H. Wang, N. Ma, Zh. Yan, *et al.*, Cobalt/polypyrrole nanocomposites with controllable electromagnetic properties, *Nanoscale*, **7**, 7189-7196 (2015).
18. M. Ghanbari, F. Shahdost-Fard, M. Rostami, *et al.*, Electrochemical determination of the antipsychotic medication clozapine by a carbon paste electrode modified with a nanostructure prepared from titania nanoparticles and copper oxide, *Microchim. Acta*, **186**, 698 (2019).
19. M.S. Burke, M.G. Kast, L. Trotochaud, *et al.*, Cobalt-iron (oxy)hydroxide oxygen evolution electrocatalysts: the role of structure and composition on activity, stability, and mechanism, *J. Am. Chem. Soc.*, **137**(10), 3638-3648 (2015).
20. C. J. Raj, B. Ch. Kim, W. J. Cho, *et al.*, Rapid hydrothermal synthesis of cobalt oxyhydroxide nanorods for supercapacitor applications, *J. Electroanal. Chem.*, **747**, 130-135 (2015).

21. A. Stadnik, E.M. Caldas, A. Galli, F.J. Anaissi, Eletrodo modificado com [CoO(OH)] coloidal aplicado na detecção de ácido oxálico, *Orbital Elec. J. Chem.*, **7**, 122-128 (2015).
22. J.S. Bonini, F.Q. Mariani, E. Guimarães Castro, *et al.*, Partículas de CoO(OH) dispersas em pasta de carbono aplicado na eletrooxidação de compostos fenólicos, *Orbital Elec. J. Chem.*, **7**, 318-326 (2015).
23. K. Aoki, I. Mukoyama, J. Chen, Competition between polymerization and dissolution of poly(3-methylthiophene) films, *Russ. J. Electrochem.*, **40**, 280-285 (2004).
24. M. Bazzouai, J.I. Martins, E.A. Bazzouai, *et al.*, Pyrrole electropolymerization on copper and brass in a single-step process from aqueous solution, *J. Appl. Electrochem.*, **34**, 815-822 (2004).
25. O. Stadnik, *Synthesis, electrochemical and photoelectrochemical properties of the oxide-hydroxide compounds of cobalt*, Diss. Kand. Chim. N., Kyiv, 2011.
26. I. Das, N. Goel, N.R. Agrawal, S.K. Gupta, Growth patterns of dendrimers and electric potential oscillations during electropolymerization of pyrrole using mono- and mixed surfactants, *J. Phys. Chem. B*, **114**(40), 12888-12896 (2010).
27. V.V. Tkach, M.V. Kushnir, S.C. de Oliveira, *et al.*, Theoretical description for anti-COVID-19 drug molnupiravir electrochemical determination over the poly(1,2,4-triazole)-co-squaraine dye composite with cobalt (III) oxyhydroxide, *Biointerface Res. Appl. Chem.*, **13**, 74 (2023).
28. V.V. Tkach, M.M. Kucher, N.Slyvka, *et al.*, The modeling for anti-Covid-19 drug molnupiravir electrochemical sensing on C₃N₄, *Biointerface Res. Appl. Chem.*, **13**, 446 (2023).

COMO CITAR ESTE ARTIGO

V.V. Tkach, M.V. Kushnir, S.C. de Oliveira, A.O. da Silva, Y.G. Ivanushko, B.Y. Banul, T.V. Honchar, P.I. Yagodynets', O.V. Luganska, Z.O. Kormosh, J.I.F. Martins, V.M. Odyntsova, M.P. Krasko, N. Karakoyun, A descrição matemática da detecção eletroanalítica da metaqualona, baseada na sua eletrooxidação sobre o composto da poli(5-amino-1,4-naftoquinona) com o oxihidróxido de cobalto, *Rev. Colomb. Cienc. Quím. Farm.*, **52**(1), 258-239 (2023). <https://doi.org/10.15446/rcciquifa.v52n1.109399>