



**PERFIL ELETROANALÍTICO DE NUTRACÊUTICOS  
ANTIOXIDANTES: IMPLICAÇÕES PARA A SAÚDE PÚBLICA**

**ELECTROANALYTICAL PROFILE OF ANTIOXIDANT  
NUTRACEUTICALS: IMPLICATIONS FOR PUBLIC HEALTH**

**PERFIL ELECTROANALÍTICO DE NUTRACÊUTICOS  
ANTIOXIDANTES: IMPLICACIONES PARA LA SALUD PÚBLICA**

Marcos Pereira Caetano<sup>1</sup>  
Eric de Souza Gil<sup>2</sup>  
Sylvia Escher de Oliveira Nielson<sup>3</sup>  
Érica Aparecida Batista<sup>4</sup>  
Isaac Yves Lopes de Macedo<sup>5</sup>  
Marx Osório Araújo Pereira<sup>6</sup>  
Huagner Rodrigues Gornattes<sup>7</sup>  
Henric Pietro Vicente Gi<sup>8</sup>

DOI: 10.54751/revistafoco.v18n1-023

Received: Dec 2<sup>nd</sup>, 2024

Accepted: Dec 25<sup>th</sup>, 2024



**RESUMO**

Objetivo: Neste trabalho buscamos avaliar diferentes amostras de nutracêuticos mais indicados por farmacêuticos em farmácias e Drogarias de Goiânia, Goiás, Brasil. Posteriormente determinamos aspectos de qualidade dos produtos majoritários, por meio de técnicas eletroanalíticas. Métodos: Doze amostras comerciais de nutracêuticos em capsulas, sendo (3 marcas diferentes de cada tipo) foram avaliadas por técnicas voltamétricas. Resultados: Os resultados evidenciaram, perfis voltametricos distintos para as amostras de Amora (*Morus nigra*), Açafrão (*Curcuma longa*), Chá verde (*Camellia sinensis*) e Guaraná (*Paullinia cupana*) com picos de oxidação próximos a  $E_{pa1}$  0,2 V. Identificamos uma diferença significativa na concentração entre as amostras (I, II

<sup>1</sup>Doutor em Ciências Farmacêuticas. Universidade Federal de Goiás. Praça Universitária, Setor Leste Universitário, Goiânia, GO, Brasil, CEP: 74605220. E-mail: [mrcs525@hotmail.com](mailto:mrcs525@hotmail.com)

<sup>2</sup>Pós-Doutor em Ciências Farmacêuticas. Universidade Federal de Goiás. Praça Universitária, Setor Leste Universitário, Goiânia, GO, Brasil, CEP: 74605220. E-mail: [ericsgil@ufg.br](mailto:ericsgil@ufg.br)

<sup>3</sup>Doutora em Ciências da Saúde. Universidade Federal de Goiás. Praça Universitária, Setor Leste Universitário, Goiânia, GO, Brasil, CEP: 74605220. E-mail: [sylvianielson@gmail.com](mailto:sylvianielson@gmail.com)

<sup>4</sup>Doutora em Ciências Farmacêuticas. Universidade Federal de Goiás. Praça Universitária, Setor Leste Universitário, Goiânia, GO, Brasil, CEP: 74605220. E-mail: [eriquitaso2@gmail.com](mailto:eriquitaso2@gmail.com)

<sup>5</sup>Doutor em Ciências Farmacêuticas. Universidade Federal de Goiás. Praça Universitária, Setor Leste Universitário, Goiânia, GO, Brasil, CEP: 74605220. E-mail: [isaacyvesl@gmail.com](mailto:isaacyvesl@gmail.com)

<sup>6</sup>Graduado em Farmácia. Universidade Federal de Goiás. Praça Universitária, Setor Leste Universitário, Goiânia, GO, Brasil, CEP: 74605220. E-mail: [omarx@discente.ufg.br](mailto:omarx@discente.ufg.br)

<sup>7</sup>Graduado em Farmácia. Universidade Federal de Goiás. Praça Universitária, Setor Leste Universitário, Goiânia, GO, Brasil, CEP: 74605220. E-mail: [huagner.111@gmail.com](mailto:huagner.111@gmail.com)

<sup>8</sup>Graduado em Farmácia. Universidade Federal de Goiás. Praça Universitária, Setor Leste Universitário, Goiânia, GO, Brasil, CEP: 74605220. E-mail: [pietro.henric@gmail.com](mailto:pietro.henric@gmail.com)

e III), há de se destacar que todas as amostras são vendidas com apelo comercial de ser “idênticas”, o que difere do resultado encontrado.

**Palavras-chave:** Voltametria; nutraceuticos; antioxidantes; eletroquímica.

### ABSTRACT

**Objective:** This study aimed to evaluate different samples of nutraceuticals most recommended by pharmacists in pharmacies and drugstores in Goiânia, Goiás, Brazil. Subsequently, we determined quality aspects of the major products using electroanalytical techniques. **Methods:** Twelve commercial samples of nutraceutical capsules (3 different brands of each type) were evaluated using voltammetric techniques. **Results:** The results revealed distinct voltammetric profiles for the samples of Mulberry (*Morus nigra*), Turmeric (*Curcuma longa*), Green Tea (*Camellia sinensis*), and Guarana (*Paullinia cupana*), with oxidation peaks around Epa1 0.2 V. A significant difference in concentration was identified among the samples (I, II, and III). It is noteworthy that all samples are marketed with the claim of being "identical," which contrasts with the findings.

**Keywords:** Voltammetry; nutraceuticals; antioxidants; electrochemistry.

### RESUMEN

**Objetivo:** En este trabajo buscamos evaluar diferentes muestras de nutraceuticos más recomendados por farmacêuticos en farmacias y droguerías de Goiânia, Goiás, Brasil. Posteriormente, determinamos aspectos de calidad de los productos mayoritarios mediante técnicas electroanalíticas. **Métodos:** Doce muestras comerciales de nutraceuticos en cápsulas (3 marcas diferentes de cada tipo) fueron evaluadas mediante técnicas voltamétricas. **Resultados:** Los resultados evidenciaron perfiles voltamétricos distintos para las muestras de Mora (*Morus nigra*), Cúrcuma (*Curcuma longa*), Té verde (*Camellia sinensis*) y Guaraná (*Paullinia cupana*), con picos de oxidación cercanos a Epa1 0,2 V. Identificamos una diferencia significativa en la concentración entre las muestras (I, II y III). Cabe destacar que todas las muestras se comercializan con el argumento de ser “idênticas”, lo que difiere de los resultados encontrados.

**Palabras clave:** Voltametria; nutraceuticos; antioxidantes; electroquímica.

## 1. Introdução

O envelhecimento populacional global é um fenômeno que conduz inevitavelmente ao incremento na prevalência de doenças crônicas, instigando um cenário onde a atenção à saúde e o uso consciente de medicamentos se tornam cada vez mais cruciais. Paralelamente, observamos uma evolução significativa nos padrões dietéticos, caracterizada por mudanças substanciais no consumo alimentar. Esta transformação dietética é acompanhada pelo aumento na procura por suplementos alimentares e nutraceuticos, evidenciando uma tendência emergente no cuidado à saúde (Singh *et al.*, 2021).

Estudos epidemiológicos têm demonstrado uma correlação positiva entre a ingestão elevada de antioxidantes naturais e a prevenção de doenças degenerativas, atribuindo aos nutracêuticos – que possuem propriedades notáveis na eliminação de radicais livres – um papel preventivo significativo. A ingestão de antioxidantes exógenos emerge como uma estratégia vital para mitigar danos oxidativos associados aos radicais livres, contribuindo assim para a manutenção da saúde (Carocho *et al.*, 2018).

Os antioxidantes funcionam como agentes químicos capazes de prevenir reações de oxidação, estabilizando espécies reativas e, conseqüentemente, mitigando processos de degradação celular. Em países em desenvolvimento, os cuidados primários com a saúde frequentemente recorrem a ervas medicinais, cujo comércio tem mostrado um crescimento prolífico (Fiebich *et al.*, 2011).

É importante salientar que a qualidade de fitoterápicos e nutracêuticos pode ser influenciada por uma variedade de fatores, incluindo variações sazonais, época de colheita, condições de cultivo, processamento pós-colheita, presença de adulterantes ou substitutos, e métodos de extração e preparo. Portanto, é crucial que estes produtos atendam a padrões rigorosos de qualidade e sejam submetidos a testes meticulosos antes de serem disponibilizados ao mercado, assegurando que os consumidores possam usufruir de seus benefícios terapêuticos de forma segura (Dhami; Dev, 2015).

A qualidade de medicamentos fitoterápicos e nutracêuticos está frequentemente correlacionada ao seu potencial antioxidante. Neste contexto, a concentração e presença de marcadores químico ativos pode ser um indicativo importante da qualidade de um produto fitoterápico (Boga *et al.*, 2016).

Tradicionalmente, técnicas como cromatografia gasosa e métodos espectrofotométricos de sequestro radicalar, incluindo DPPH (2,2-difenil1-picrilhidrazil) e ABTS (2,2-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfonato), têm sido utilizadas para avaliar a capacidade antioxidante, baseando-se na transferência de elétrons e/ou prótons entre espécies eletroativas. No entanto, métodos eletroquímicos têm ganhado destaque devido à sua capacidade de fornecer informações mais detalhadas sobre estabilidade, processos redox e reversibilidade de compostos antioxidantes (Gil; Couto, 2013).

Dados eletroquímicos sobre atividade antioxidante são particularmente notáveis, oferecendo uma visão ampla e reprodutível dos processos eletrodinâmicos através de um método simples e de baixo custo. Entre os métodos mais inovadores para determinar e caracterizar a atividade antioxidante, destaca-se a voltametria, que fornece insights sobre a cinética redox e as características termodinâmicas das amostras, enriquecendo o entendimento sobre a eficácia e qualidade antioxidante dos produtos (Rodrigues *et al.*, 2019).

Dada a importância dessas técnicas no controle de qualidade e na garantia da eficácia terapêutica, este estudo tem como objetivo realizar uma avaliação eletroanalítica de amostras de nutracêuticos amplamente indicados por farmacêuticos, através de análises eletroanalíticas de produtos altamente comercializados em farmácias na cidade de Goiânia, Goiás, Brasil. Baseado nos achados de (Caetano *et al.*, 2022), quatro produtos nutracêuticos amplamente recomendados por farmacêuticos foram avaliados, sendo estes: Açafrão (*Curcuma longa*), Guaraná (*Paullinia cupana*), Amora (*Morus nigra*) e Chá Verde (*Camellia sinensis*).

## 2. Metodologia

### 2.1 Amostras e Reagentes

Todas as soluções eletrolíticas utilizadas foram diluídas em Água Milli-Q (condutividade  $\leq 0,1 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) (Millipore S.A., Molsheim, França). Os reagentes etanol e os padrões foram adquiridos da Sigma-Aldrich Chemical Co. (St. Louis, MO, EUA). Doze amostras comerciais sendo (3 marcas diferentes para cada produto) foram adquiridos de empresas locais em Goiânia, Goiás, Brasil, sendo estas amostras as seguintes: Açafrão (*Curcuma longa*), Guaraná (*Paullinia cupana*), Amora (*Morus nigra*) e Chá verde (*Camellia sinensis*) em capsulas.

### 2.2 Preparação da Amostra

Para cada um dos 4 tipos de nutracêuticos selecionados, foram utilizadas

3 amostras comerciais de mesmo tipo, resultando em 3 amostras para cada um dos nutracêuticos (amostra I, II e III), sendo este açafrão (*Curcuma longa*), guaraná (*Paullinia cupana*), amora (*Morus nigra*) e chá verde (*Camellia sinensis*), resultando em um total de 12 amostras. De cada uma destas amostras 10 g foram pesados, sendo estes macerados em graal e pistilo e transferidos para tubos de vidro. Foi posteriormente adicionado etanol de 95% de pureza de modo a formar uma solução de 10% p/v do extrato dos nutracêuticos. A solução foi centrifugada por 15 minutos em microcentrífuga de alta velocidade Hitachi® CF16RN Himac a 2000 rpm, as soluções foram posteriormente filtradas em papel filtro e colocadas em ultrassom por 10 minutos.

### 2.3 Testes Eletroquímicos

As análises eletroquímicas foram realizadas em potenciostato/galvanostato  $\mu$ Autolab III® integrado com o software NOVA 2.1 (Metrohm). As medidas foram feitas em um compartimento único de 5 mL célula eletroquímica com sistema de 3 eletrodos, composto por um eletrodo de pasta de carbono, um eletrodo Ag/AgCl/KCl sat 3 M, e um fio de platina (adquirido na Lab Solutions, São Paulo, Brasil), representando os eletrodos de trabalho, referência e auxiliar, respectivamente. Foram utilizadas as técnicas de voltametria de pulso diferencial (do inglês *Differential Pulse Voltammetry*, DPV) e voltametria de onda quadrada (do inglês *Square Wave Voltammetry*, SWV) para a avaliação da capacidade antioxidante das amostras. As condições experimentais para DPV foram amplitude de pulso de 50 mV, largura de pulso de 0,5 s e taxa de varredura de 10 mV.s<sup>-1</sup>. As condições experimentais para o SWV foram amplitude de pulso de 50 mV com frequência de 50 Hz e potencial de aumento de 2 mV, correspondendo a uma velocidade de varredura de 100 mV.s<sup>-1</sup>. Os voltamogramas de DPV tiveram a linha de base corrigida por média de movimento, e todos os dados foram analisados e tratados no software Origin 9.0. Todos os experimentos foram feitos em temperatura ambiente (21 ± 1° C) em triplicata (n = 3), com tampão fosfato 0,1 M pH 7,0.

## 2.4 Cálculo de Índice Eletroquímico

O índice eletroquímico ( $IE$ ) é um parâmetro que pode ser utilizado para avaliação de capacidade antioxidante de uma amostra, onde utiliza o potencial de pico anódico ( $E_{pa}$ ) e o pico de corrente anódico ( $I_{pa}$ ), parâmetros estes que avaliam a facilidade com que uma espécie se oxida e a quantidade de corrente gerada durante o processo. Baseando no fato de que em  $E_{pa}$  inferior, a capacidade de doação de elétrons é o maior (parâmetro termodinâmico) e quanto maior o  $I_{pa}$  (parâmetro cinético), maior o número de espécies eletroativas, o  $IE$  é usando o seguinte calculado:

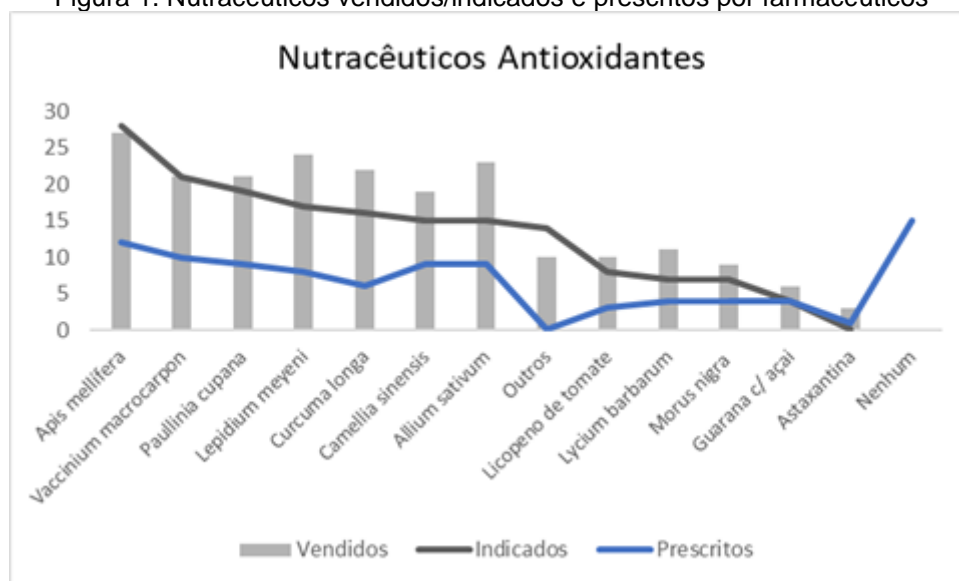
$$IE = \left( \frac{I_{pa1}}{E_{pa1}} \right) + \left( \frac{I_{pa2}}{E_{pa2}} \right) + \dots + \left( \frac{I_{pan}}{E_{pan}} \right)$$

Em que  $E_{pa}$  e  $I_{pa}$  correspondem aos valores de potencial e corrente dos picos de oxidação em uma análise de DPV com diferença de potencial positiva, respectivamente (Macêdo *et al.*, 2017).

## 3. Resultados

Em estudo anterior (Caetano *et al.*, 2022), foram avaliados os nutraceuticos com maior incidência de prescrição farmacêutica, sendo estes: *Apis mellifera* L., *Vaccinium macrocarpon*, *Paullinia cupana*, *Lepidium meyeri*, *Curcuma longa*, *Camellia sinensis*, *Allium sativum*, Licopeno de Tomate., *Lycium barbarum*, *Morus Nigra*, Guarana com Açai e Astaxantina, conforme mostrado na figura adaptada (Figura 1), a seguir.

Figura 1. Nutracêuticos vendidos/indicados e prescritos por farmacêuticos



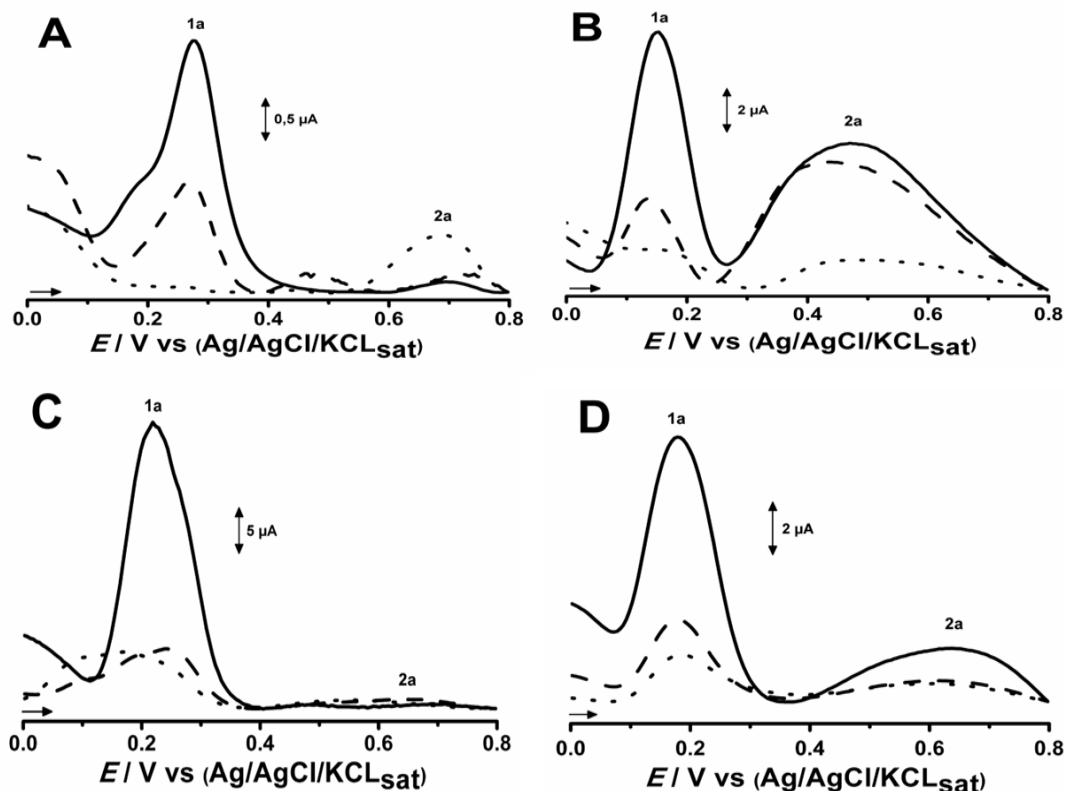
Fonte: Adaptado de Caetano *et al.*, 2022.

Destes nutracêuticos mostrados na figura 1, foram selecionados aleatoriamente as amostras de açafrão (*Curcuma longa*), guaraná (*Paullinia cupana*), amora (*Morus nigra*) e chá verde (*Camellia sinensis*). Foi empregada metodologia eletroanalítica para a avaliação da capacidade antioxidante destas amostras.

### 3.1 Caracterização Eletroquímica

Para avaliar a capacidade antioxidante e o perfil redox das amostras de nutracêuticos, foram realizados experimentos eletroquímicos de voltametria de pulso diferencial (DPV) para cada amostra. Os voltamogramas resultantes são mostrados na figura a seguir.

Figura 2. Voltamograma resultante dos ensaios de voltametria de pulso diferencial (DPV) de 12 amostras comerciais, sendo estas amostras I (—), II (- - -) e III (...) de amora (*Morus nigra*) (A), açafrão (*Curcuma longa*) (B), chá verde (*Camellia sinensis*) (C) e guaraná (*Paullinia cupana*) (D).



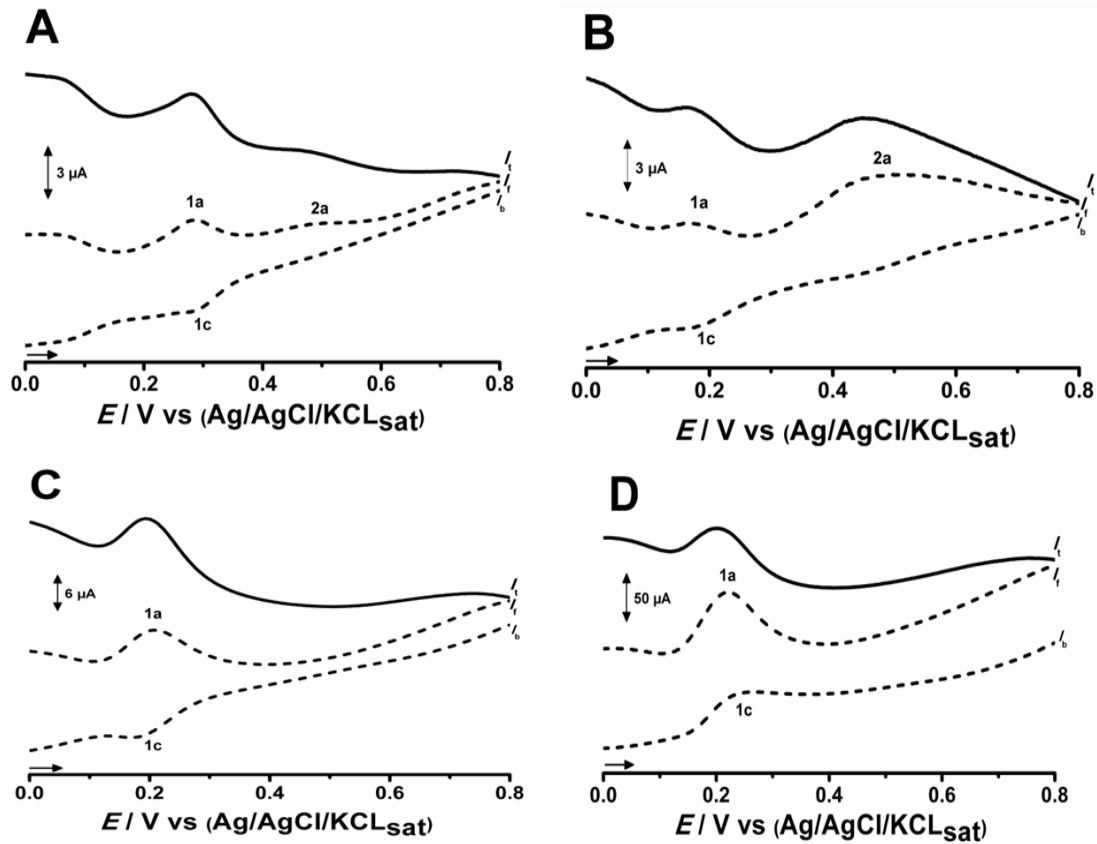
Fonte: Autor

Como pode ser observado na figura 2, nos voltamogramas das amostras foram encontrados picos de oxidação nas amostras de amora (*Morus nigra*) em  $E_{pa1}$  c.a. 0,3 V e  $E_{pa2}$  c.a. 0,7 V; açafrão (*Curcuma longa*) em  $E_{pa1}$  c.a. 0,2 V e  $E_{pa2}$  c.a. 0,5 V, chá verde (*Camellia sinensis*) em  $E_{pa1}$  0,2 V e guaraná (*Paullinia cupana*) em  $E_{pa1}$  0,2 V e  $E_{pa2}$  0,6 V.

Adicionalmente foram realizados ensaios de voltametria de onda quadrada (SWV), para avaliação da reversibilidade dos fenômenos de oxidação observados anteriormente. Para este ensaio foram utilizadas misturas das 3 amostras comerciais de cada tipo de nutracêuticos.

Os voltamogramas resultantes, estão dispostos na figura a seguir.

Figura 3. Voltamograma resultante dos ensaios de voltametria de onda quadrada (SWV) de misturas das amostras comerciais (n=3) de amora (*Morus nigra*) (A), açafrão (*Curcuma longa*) (B), chá verde (*Camellia sinensis*) (C) e guaraná (*Paullinia cupana*) (D).



Fonte: Autor

Na figura 3 é possível observar através dos voltamogramas resultantes que os picos de oxidação das amostras em  $E_{pa}$  c.a. 0,2 V, mostram ser semireversíveis, devido a amplitude do pico catódico de redução ser próximo ao do pico anódico de oxidação, ainda sendo a amplitude do pico anódico de oxidação superior. Isso demonstra a presença de compostos com atividade antioxidante em todas as amostras analisadas (Macêdo *et al.*, 2017).

Adicionalmente foi observado um pico de oxidação semi-reversível abaixo de  $E_{pa} < 0,2$  V na amostra de amora (Figura 3A), provavelmente oriundo da amostra II, pois foi a única amostra a demonstrar este perfil anteriormente nos ensaios de DPV (Figura 2A).

### 3.2 Atividade Antioxidante e Índice Eletroquímico

Após a observação da presença de compostos antioxidantes através dos ensaios anteriores, foi calculado o índice eletroquímico com os dados de voltametria de pulso diferencial. O índice eletroquímico é uma medida da capacidade de um composto químico em receber ou doar elétrons em uma reação redox (redução-oxidação). Na tabela a seguir estão demonstrados os valores do índice eletroquímico calculado e correlação com compostos antioxidantes de perfis eletroquímicos similares relatados em literatura.

Tabela 1: Índice eletroquímico

Nutracêutico	IE ( $\mu\text{A/V}$ ) (Amostra I)	IE ( $\mu\text{A/V}$ ) (Amostra II)	IE ( $\mu\text{A/V}$ ) (Amostra III)	IE média ( $\mu\text{A/V}$ )	$E_{pa1}$ ( V)	$E_{pa2}$ (V)	Marcador Antioxidante	Referência
Amora ( <i>Morus nigra</i> )	11,62	5,95	1,04	6,20	0,3	0,7	Morina; $E_{pa}$ 0,2 V Cianidina-3-glucosídeo; $E_{pa}$ 0,65 V	Ziyatdinova et al., 2014 CĂta et al., 2016
Açafrão ( <i>Curcuma longa</i> )	93,11	44,27	13,87	50,42	0,2	0,5	Flavonoides; $E_{pa}$ 0,19 V Curcumina; $E_{pa}$ 0,41 V	Mekonnen e Desta, 2021 Cheraghi et al., 2016
Chá verde ( <i>Camellia sinensis</i> )	605,12	194,96	112,04	304,04	0,2	-	Ácido gálico; $E_{pa}$ 0,2 V	Leite et al., 2018
Guaraná ( <i>Paullinia cupana</i> )	609,7	192,91	111,11	304,57	0,2	0,6	Ácido ascórbico; $E_{pa}$ 0,6 V	Menezes Peixoto et al., 2017

Fonte: Autor

Foram encontradas diferenças significativas nos índices eletroquímicos (IEs) calculados para as 3 amostras, conforme mostrado na Tabela 1. Além disso, os valores entre as amostras foram também significativamente diferentes, sendo a amostra de amora a que demonstrou a menor capacidade antioxidante (IE médio de 6,20  $\mu\text{A/V}$ ) e a amostra de chá verde e guaraná equivalente em média (IE médio de 304,04  $\mu\text{A/V}$  e IE médio de 304,57  $\mu\text{A/V}$ , respectivamente).

Os resultados e achados deste trabalho estão discutidos na seção a seguir.

#### 4. Discussão

A prática farmacêutica no Brasil, especialmente no que tange aos medicamentos isentos de prescrição (MIPs) como os nutracêuticos, tem um papel crucial na orientação dos pacientes sobre o uso racional desses produtos. Essa orientação abrange não apenas o uso correto, mas também questões fundamentais relacionadas à saúde do paciente, possíveis interações medicamentosas, armazenamento adequado e a garantia da qualidade dos produtos dispensados. A importância dessa orientação se torna ainda mais crítica considerando que os nutracêuticos são vendidos sem a necessidade de prescrição médica, colocando uma responsabilidade significativa sobre os farmacêuticos que os dispensam (Saúde, 2006).

Grande parte do efeito desses nutracêuticos e suas atividades antiinflamatórias e antimicrobianas, estão diretamente relacionadas ao seu perfil antioxidante, o qual pode ser avaliado diretamente por abordagens eletroanalíticas, onde pode ser avaliada a qualidade dos antioxidantes ali presentes, como as classes e possíveis espécies químicas envolvidas, assim como a capacidade antioxidante total da amostra (Arribas *et al.*, 2012; Macêdo *et al.*, 2017; Barros; Medeiros; Campos, 2010).

De acordo com o perfil eletroquímico da amora (*Morus nigra*) (Figura 2A) foram observados dois picos de oxidação, sendo o primeiro pico,  $E_{pa1}$  c.a. 0,3 V, provavelmente relacionado a presença de flavonoides. A oxidação da amora nesta faixa de potencial, está relacionada a presença específica de morina e compostos flavonoides similares, evidenciando sua presença nas amostras analisadas (Ziyatdinova *et al.*, 2014). O segundo pico,  $E_{pa2}$  c.a. 0,7 V, provavelmente relacionado a compostos polifenólicos, como antocianinas.

Foram relatados achados através de análises de espectroscopia de massas em conjunto com eletroanálise relacionando a antocianina cianidina-3-glucosídeo, à oxidação próxima a potenciais encontrados em  $E_{pa}$  c.a. 0,65 V, equivalentes ao  $E_{pa2}$  c.a. 0,7 V encontrado no presente trabalho (Cãta *et al.*, 2016).

O açafrão-da-terra (*Curcuma longa*) (Figura 2B) também apresentou dois

picos, sendo estes em  $E_{pa^1}$  c.a. 0,2 V e  $E_{pa^2}$  c.a. 0,5 V. De maneira similar às amostras de amora, o primeiro pico oxidativo pode ser relacionado à compostos flavonoides (Mekonnen; Desta, 2021). O açafrão possui curcumina que possui notória capacidade antioxidante (Ziyatdinova *et al.*, 2012). A curcumina tem o potencial oxidativo altamente dependente do pH do meio, sendo encontrada a sua oxidação em valores de potencial próximos ao segundo pico anódico  $E_{pa^2}$  c.a. 0,5 V (Cheraghi *et al.*, 2016; Ziyatdinova *et al.*, 2012).

Na análise voltamétrica do chá verde (*Camellia sinensis*) (Figura 2C), foi observado apenas um pico oxidativo em  $E_{pa^1}$  c.a. 0,2 V. Conforme relatado na literatura, este pico pode estar relacionado a presença de ácido gálico e compostos similares (Leite *et al.*, 2018). Interessantemente, seria esperado ver também um segundo pico de oxidação, que poderia estar relacionado a epigalocatequina, entretanto, não foram observados mais picos significativos (Qin *et al.*, 2020). Diferentes regiões de origem podem também gerar diferentes metabolitos, o que poderia explicar esta ausência, entretanto, não se pode descartar a possibilidade de falha de qualidade ou autenticidade das amostras de chá verde analisadas (Jiang; Zheng, 2023).

Para a amostra de guaraná (*Paullinia cupana*) (Figura 2D) foram observados dois picos de oxidação em  $E_{pa^1}$  c.a. 0,2 V e  $E_{pa^2}$  c.a. 0,6 V, similares às amostras de amora e açafrão, o que indica que este nutracêuticos possuem compostos antioxidantes de classes similares. No melhor de nosso conhecimento e busca bibliográfica, não foi encontrado relato em literatura com eletroanálises em condições similares à realizada neste estudo, entretanto, pode se inferir a presença de ácido ascórbico por sua similaridade em voltametria de nutracêuticos similar, *Bunchosia glandulifera*, popularmente conhecido como falso guaraná, em  $E_{pa}$  c.a. 0,6 V (Menezes *et al.*, 2017).

A correlação entre as capacidades antioxidantes desses nutracêuticos e suas atividades anti-inflamatórias e antimicrobianas, que são responsáveis em grande parte por seu efeito de promoção de bem-estar, pode ser considerada sob várias perspectivas. Os antioxidantes presentes nesses nutracêuticos, como flavonoides, curcumina e ácido gálico, têm demonstrado em estudos reduzir marcadores de inflamação. Eles agem modulando vias inflamatórias e inibindo a produção de moléculas pró-inflamatórias. Além de suas propriedades

antioxidantes, compostos como curcumina e ácido gálico têm mostrado atividade antimicrobiana. Estes compostos podem interferir na função e integridade da membrana celular de microrganismos e inibir processos vitais dentro das células patogênicas e até mesmo proteger contra doenças degenerativas (Ekundayo *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2024; Xu *et al.*, 2023).

No decorrer do nosso estudo, identificamos variações significativas nos perfis eletroquímicos de três amostras comerciais de cada um dos quatro nutracêuticos estudados: amora (*Morus nigra*), açafrão (*Curcuma longa*), chá verde (*Camellia sinensis*) e guaraná (*Paullinia cupana*). Estas variações, evidenciadas pela diferença nas correntes de pico anódico ( $I_{pa}$ ) e potenciais de pico anódico ( $E_{pa}$ ) observadas, levantam sérias preocupações sobre a consistência na qualidade desses produtos. Embora comercializados com a alegação de serem “idênticos” e possuírem as mesmas concentrações de ingredientes ativos, nossos achados sugerem o contrário, levantando a possibilidade de adulteração ou falta de controle rigoroso na fabricação desses produtos.

Adicionalmente, a técnica de voltametria de onda quadrada (SWV), empregada em nosso estudo, revelou-se particularmente eficaz na detecção de variações nos perfis antioxidantes desses nutracêuticos. Esta técnica permitiu a identificação de picos anódicos em potenciais próximos a 0.2 V em todas as amostras, indicativos da presença de compostos polifenóis, como pode ser visto pela semi-reversibilidade apresentada nestes processos redox nas quatro amostras testadas (Figura 3).

Após a avaliação individual dos processos oxidativos, o índice eletroquímico foi calculado para avaliar a capacidade antioxidante total. O índice eletroquímico é uma medida da capacidade de um composto químico em receber ou doar elétrons em uma reação redox (redução-oxidação). Quanto maior o valor do índice, maior é a capacidade antioxidante da amostra. Assim, há uma correlação diretamente proporcional entre o índice eletroquímico e a capacidade antioxidante.

Conforme apresentado na Tabela 1, e brevemente descrito em seção anterior, a amostra de amora mostrou ter a menor capacidade antioxidante e as

amostras de chá verde e açafão mostraram ter a maior capacidade antioxidante similarmente, em avaliação do IE. São esperadas diferenças em perfil antioxidante de diferentes produtos, entretanto, é preocupante que tenham sido encontradas diferenças extremas entre amostras do mesmo nutracêutico, como observado nas variações entre as amostras de amora (IE amostra III de 1,04  $\mu\text{A/V}$  e IE amostra I de 11,62  $\mu\text{A/V}$ ), açafão (IE amostra III de 13,87  $\mu\text{A/V}$  e IE amostra I de 93,11  $\mu\text{A/V}$ ), chá verde (IE amostra III de 112,04  $\mu\text{A/V}$  e IE amostra I de 605,12  $\mu\text{A/V}$ ) e guaraná (IE amostra III de 111,11  $\mu\text{A/V}$  e IE amostra I de 609,70  $\mu\text{A/V}$ ), vide tabela 1.

## 5. Conclusão

As implicações dessas descobertas para a saúde pública são significativas e multifacetadas. Primeiramente, a inconsistência na concentração de compostos antioxidantes em nutracêuticos, que são amplamente utilizados pela população para a promoção da saúde e prevenção de doenças, coloca em questão a eficácia e segurança desses produtos. Os consumidores, ao utilizar esses produtos com a expectativa de obter benefícios à saúde, podem estar expostos a riscos devido à variação na qualidade e concentração dos ingredientes ativos (Balkir *et al.*, 2021).

Além disso, a possibilidade de adulteração ou falta de controle de qualidade nos processos de fabricação desses nutracêuticos levanta preocupações sobre a integridade do mercado de suplementos alimentares e fitoterápicos. Tais práticas não apenas enganam os consumidores, mas também podem resultar em efeitos adversos à saúde, especialmente em indivíduos com condições de saúde específicas ou que estão utilizando outros medicamentos.

A evidência de variações significativas nos perfis eletroquímicos de nutracêuticos comercializados sob a mesma designação enfatiza a necessidade de regulamentações mais rígidas e mecanismos de controle de qualidade eficazes no setor de suplementos alimentares e fitoterápicos. Essa necessidade é particularmente necessária em países em desenvolvimento, onde o acesso a medicamentos convencionais pode ser limitado e os nutracêuticos são frequentemente utilizados como alternativas acessíveis.

Além disso, a compreensão detalhada dos perfis eletroquímicos dos nutracêuticos e de seus compostos bioativos oferece novas perspectivas para o desenvolvimento de estratégias terapêuticas baseadas em evidências. Por exemplo, a identificação de compostos específicos com fortes propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e antimicrobianas pode guiar a formulação de suplementos alimentares mais eficazes e o design de intervenções de saúde pública direcionadas.

Portanto, este estudo sublinha a importância de uma abordagem integrada na saúde pública que inclua a educação dos consumidores sobre o uso racional de nutracêuticos, o fortalecimento da regulamentação e fiscalização do mercado desses produtos, e a promoção de pesquisas contínuas para garantir a segurança e eficácia dos mesmos. Esperamos que nossos achados incentivem a adoção de políticas e práticas mais rigorosas na produção e comercialização de nutracêuticos, contribuindo assim para a proteção da saúde pública e o fortalecimento da confiança dos consumidores nesse setor vital.

### Agradecimentos

Agradecemos a FAPEG, chamada pública FAPEG Nº 11/2024. Programa de Mobilidade Internacional – Participação em Eventos no Exterior, Protocolo Nº: PMI2024131000007

### REFERÊNCIAS

ARRIBAS, A.S. MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ, M. CHICHARRO, M. The role of electroanalytical techniques in analysis of polyphenols in wine. **TrAC - Trends Anal. Chem.** 34, 78–96. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2011.10.015>

BALKIR, P. KEMAHLIOGLU, K. YUCEL, U. Foodomics: A new approach in food quality and safety. **Trends Food Sci. Technol.** 108, 49–57, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.11.028>

BOGA, M. *et al.* Phytochemical analysis, antioxidant, antimicrobial, anticholinesterase and DNA protective effects of *Hypericum capitatum* var. *capitatum* extracts. *South African J. Bot.* 104, 249–257, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2016.02.204>

- CAETANO, M.P. *et al.* Comercialização, dispensação e prescrição de nutraceuticos antioxidantes por farmaceuticos. *Brazilian J. Heal. Rev.* 5, 18045–18059, 2022. <https://doi.org/10.34119/bjhrv5n5-019>
- CAROCHO, M. MORALES, P. FERREIRA, I.C.F.R. Antioxidants: Reviewing the chemistry, food applications, legislation and role as preservatives. *Trends Food Sci. Technol.* 71, 107–120, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.11.008>
- CĂȚA, A. *Et al.* Evaluation of antioxidant activities of some small fruits containing anthocyanins using electrochemical and chemical methods. *Croat. Chem. Acta* 89, 37–48, 2016. <https://doi.org/10.5562/cca2656>
- CHERAGHI, S. TAHER, M.A. KARIMI-MALEH, H. Fabrication of Fast and Sensitive Nanostructure Voltammetric Sensor for Determination of Curcumin in the Presence of Vitamin B9 in Food Samples. *Electroanalysis* 28, 2590–2599, 2016. <https://doi.org/10.1002/elan.201600252>
- DE MACÊDO, I.Y.L. *et al.* Electroanalytical tools for antioxidant evaluation of red fruits dry extracts. *Food Chem.* 217, 326–331, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.082>
- DHAMI, N. DEV, A. Phytochemical variation : How to resolve the quality controversies of herbal medicinal products ? *Perspect. Med.* 5, 118–127, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.hermed.2015.04.002>
- EKUNDAYO, B.E. *et al.* Gallic acid and hesperidin elevate neurotransmitters level and protect against oxidative stress, inflammation and apoptosis in aluminum chloride-induced Alzheimer's disease in rats. *Pharmacol. Res. - Mod. Chinese Med.* 5, 100193, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.prmcm.2022.100193>
- FIEBICH, B.L. *et al.* Pharmacological studies in an herbal drug combination of St. John's Wort (*Hypericum perforatum*) and passion flower (*Passiflora incarnata*): In vitro and in vivo evidence of synergy between *Hypericum* and *Passiflora* in antidepressant pharmacological models. *Fitoterapia* 82, 474–480, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2010.12.006>
- GIL, E.S. COUTO, R.O. 2013. Flavonoid electrochemistry: A review on the electroanalytical applications. *Brazilian J. Pharmacogn.* 23, 542–558, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2013005000031>
- JIANG, L., ZHENG, K. Towards the intelligent antioxidant activity evaluation of green tea products during storage: A joint cyclic voltammetry and machine learning study. *Food Control* 148, 109660, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.109660>
- BARROS, J.A.C. CAMPOS, R.M.M, A.V.B.M. Atividade antioxidante em vinhos de jabuticaba e de uva Antioxidant activity in wines made from jabuticaba and grape. *Rev. da Sociedade Bras. Aliment. e Nutr.* 35, 73–83, 2010.

LEITE, K.C. DE S. *et al.* Antioxidant activity evaluation of dried herbal extracts: an electroanalytical approach. **Rev. Bras. Farmacogn.** 28, 325–332, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.bjp.2018.04.004>

MEKONNEN, A., DESTA, W. Comparative study of the antioxidant and antibacterial activities of *Rumex abyssinicus* with commercially available *Zingiber officinale* and *Curcuma longa* in Bahir Dar city, Ethiopia. **Chem. Biol. Technol. Agric.** 8, 1–11, 2021. <https://doi.org/10.1186/s40538-020-00198-0>

MENEZES PEIXOTO, C.R. Voltammetric determination of total antioxidant capacity of *Bunchosia glandulifera* tree extracts. **J. Electroanal. Chem.** 799, 519–524, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2017.07.003>

QIN, L. *Et al.* Exploring community evolutionary characteristics of microbial populations with supplementation of *Camellia* green tea extracts in microbial fuel cells. *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.* 113, 214–222, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2020.08.015>

RODRIGUES, E.S.B. Electrochemical characterization of central action tricyclic drugs by voltammetric techniques and density functional theory calculations. **Pharmaceuticals** 12, 2019. <https://doi.org/10.3390/ph12030116>

SAÚDE, L.E.B.À. Alimentos funcionais e nutracêuticos: definições, legislação e benefícios à saúde. 3, 109–122, 2006.

SINGH, P. *et al.* Role of nutraceuticals in cognition during aging and related disorders. **Neurochem. Int.** 143, 104928, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.neuint.2020.104928>

WANG, L., LI, M. *et al.* Dietary flavonoids–microbiota crosstalk in intestinal inflammation and carcinogenesis. **J. Nutr. Biochem.** 125, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2023.109494>

XU, G. *et al.* Promotion of transcription factor EB-dependent autophagic process by curcumin alleviates arsenic-caused lung oxidative stress and inflammation in mice. **J. Nutr. Biochem.** 125, 109550, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2023.109550>

ZIYATDINOVA, G. ZIGANSHINA, E. BUDNIKOV, H. Electrooxidation of morin on glassy carbon electrode modified by carboxylated single-walled carbon nanotubes and surfactants. **Electrochim. Acta** 145, 209–216, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2014.08.062>

ZIYATDINOVA, G.K. NIZAMOVA, A.M. BUDNIKOV, H.C. Voltammetric determination of curcumin in spices. **J. Anal. Chem.** 67, 591–594, 2012. <https://doi.org/10.1134/S1061934812040132>