

AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE DE COMPOSTOS BIOATIVOS PRESENTES NA ERVA-MATE (*Ilexparaguariensis* A. St.-Hill) AO LONGO DOS PROCESSOS INDUSTRIAIS
EVALUATION OF THE ACTIVITY OF BIOACTIVE COMPOUNDS PRESENT IN YERVA MATE (*Ilex paraguariensis a. st.-hill*) THROUGHOUT INDUSTRIAL PROCESSES

*Débora Galina*¹

*Lucas Henrique do Nascimento*²

*Juliana Steffens*³

*Clarice Steffens*⁴

Resumo:

A utilização da erva-mate propagou-se praticamente por todo o mundo devido a descoberta dos benefícios à saúde por meio do consumo de bebidas e derivados desta planta. Durante o processamento industrial, podem sofrer alterações no perfil e na concentração dos compostos bioativos, os quais podem modificar suas atividades biológicas. Neste sentido este trabalho teve como objetivo avaliar a umidade relativa, o teor de cafeína, compostos fenólicos e a atividade antioxidante na erva-mate (*Ilexparaguariensis* A. St.-Hill) plantada *in natura* e ao longo de cada etapa industrial, como no sapeco, secagem (em secador rotativo e esteira) e moagem. As amostras de erva-mate *in natura* foram coletadas na região do Alto Uruguai entre os municípios de Barão de Cotegipe e Erechim; e foram processadas e coletadas em uma indústria ervateira. A extração dos compostos bioativos das amostras foi realizada em ultrassom com solvente hidroalcolico. Os extratos de erva-mate obtidos nas diferentes etapas do processamento industrial apresentaram teores de cafeína (1,2 vezes), compostos fenólicos (1,3 vezes) e atividade antioxidante (1,5 vezes) maiores em relação a amostra *in natura*. Assim, verificou-se que a erva-mate processada para chimarrão é uma excelente fonte de compostos bioativos.

Palavras-Chaves: Erva-mate, processamento industrial, compostos bioativos.

Abstract

The yerba mate consumption has spread throughout the world because the discovery of health benefits from beverages and derivatives. During the industrial process, changes may happen in the profile and concentration of bioactive compounds of the products, which can modify your biological activities. In

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões URI Erechim -Brasil,

¹093074@aluno.uricer.edu.br

²092481@aluno.uricer.edu.br

³julisteffens@uricer.edu.br

⁴claristeffens@yahoo.com.br

this sense, the study aims to evaluate the relative humidity, caffeine content, phenolic compounds and antioxidant activity in cultivated yerba mate (*Ilex paraguariensis*) in natura and along of each industrial step, such as sapeco, drying and grinding. The in natura yerba mate sample were collected in the Alto Uruguai region between Barão de Cotegipe and Erechim cities; and the other samples were collected in Industry. The bioactive compounds extraction from the samples was performed using ultrasound with a hydroalcoholic solvent. The results demonstrate that the levels of caffeine, phenolic compounds and antioxidant activity in the yerba mate extracts obtained in the different stages of industrial processing were higher in relation to the in natura sample. Thus, processed yerba mate for chimarrão is an excellent source of bioactive compounds.

Keywords: Yerba mate, industrial processing, bioactive compounds.

1- Introdução

Há milhares de anos, as plantas são referências inspiradoras de produtos alimentícios ou derivados com atividades biológicas potenciais, servindo como protótipos de moléculas biologicamente ativas sintetizadas para aplicação em grande escala na sociedade industrial (Atanasov et al., 2015).

Os estudos de derivados vegetais não se integram apenas às análises de estrutura biologicamente ativa e dos processos de isolamentos dos compostos, como também a sua aplicação à indústria, principalmente alimentícia. Portanto, ao longo dos anos, o interesse nas plantas tem focado na parte introdutória em produtos alimentares com a intenção de otimizar sua vida útil, sem modificar significativamente suas características organolépticas ou nutricionais (Tiwari et al., 2009).

A utilização da erva-mate propagou-se praticamente por todo o mundo devido a descoberta dos benefícios à saúde por meio do consumo de bebidas e derivados desta planta, o que tem aumentado o nível de sua importância comercial para os países que a produzem (Murakami et al., 2011). As principais formas de consumo da erva-mate são tradicionalmente quentes e frias, onde recebem a nomenclatura de chimarrão no Sul do Brasil, mate na Argentina e Uruguai, e tereré no Centro-Oeste do Brasil e Paraguai (Bracesco et al., 2011).

Nas folhas da erva-mate são encontrados compostos bioativos como alcalóides (metilxantinas), saponinas (terpenóides), polifenóis (ácido cafeico e clorogênico) e os flavonóides (rutina, quercitina e kaempferol) (Croge, Cuquel, Pintro, 2021). Os compostos fenólicos apresentam comportamento antioxidante, que podem contribuir para a redução de danos causados ao DNA e redução de lesões oxidativas em diversos tecidos cerebrais (Ludka et al., 2015).

A erva-mate e seus derivados estão sendo exportados para diversos países, onde são comercializados como droga vegetal. Os extratos são utilizados em produtos fitoterápicos para o tratamento de sobrepeso e obesidade, bem como em suplementos dietéticos devido a seu conteúdo de vitaminas, minerais, propriedades energizantes dadas por metilxantinas, cafeína e teobromina; além do mais, é considerada um alimento funcional (Zuin et al., 2005).

O processamento industrial das folhas de erva-mate envolve os estágios de colheita, sapeco, secagem, trituração, maturação e empacotamento. Durante o processamento industrial, especialmente nos estágios de colheita, sapeco e secagem, as folhas de erva-mate sofrem alterações no perfil e na concentração dos compostos bioativos, os quais podem modificar suas atividades biológicas (Isolabella et al., 2010).

Na literatura são encontrados diversos estudos com diferentes métodos de extração de erva-mate tais como infusão (Prudêncio et al., 2012), maceração, fluido pressurizado e extração assistida por ultrassom ou micro-ondas (Vieira, 2015). A extração assistida por ultrassom melhora a taxa de extração via mecanismo de cavitação, quebrando as paredes celulares de matriz sólida, promovendo a penetração de solvente e transferência de massa (Silva, Silva, Bolanho, 2018). A extração de compostos bioativos de matrizes vegetais emergiu como um método eficaz, proporcionando alto rendimento e menor tempo de extração (Chemat et al., 2017).

Desse modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar a umidade relativa, o teor de cafeína, compostos fenólicos e a atividade antioxidante presentes na erva-mate (*Ilexparaguariensis* A. St.-Hill) plantada *in natura* e ao longo de cada etapa industrial, como no sapeco, secagem e moagem da erva-mate para chimarrão.

2- Materiais e Métodos

2.1 Obtenção das Amostras

A matéria-prima utilizada neste trabalho foi coletada a partir de um mesmo lote para minimizar a influência da variabilidade genética (Figura 1). As amostras de erva-mate *I. paraguariensis in natura* foram coletadas na região do Alto Uruguai entre os municípios de Barão de Cotegipe e Erechim, próximo a BR-480 (Dados geográficos: 27°38'08.S; 52°21'17.69O), onde o tipo do erval é plantado.

Figura 1- Planta de erva-mate (*I. paraguariensis*)



Ao longo do processamento industrial para a obtenção da erva-mate para chimarrão foram coletadas as amostras nas etapas de sapeco, secagem e moagem. Para tal a coleta das amostras foi realizada na Barão Indústria e Comércio de Erva-Mate Ltda., localizada em Barão de Cotegipe, Rio Grande do Sul, seguindo os processos operacionais próprios. A indústria possui duas linhas de processamento tais como: na linha de processamento 01 as etapas envolvidas são o sapeco, a secagem em secador tipo rotativo (secador 01)

e moagem; e na linha de processamento 02 as etapas envolvidas são o sapeco, a secagem em secador tipo esteira (secador 02) e moagem. A Figura 2 apresenta as etapas do processamento industrial das amostras de erva-mate tipo chimarrão.

Desse modo, as condições de cada etapa do processamento industrial onde foram coletadas as amostras é descrito a seguir:

Folha in natura: folhas e ramos *in natura* (sem processamento) foram coletados do erval plantado de forma manual;

Sapegador 01 (Rotativo): amostras foram coletadas na saída do sapecador 01 com temperatura média de 70°C, onde as chamas do sapecador foram alimentadas manualmente com lenha de eucalipto de reflorestamento. Neste processo a erva-mate passa por um cilindro metálico giratório e inclinado (Grimm) de 2,5 m diâmetro e 7 m de comprimento (Figura 3).

Figura 2 - Etapas do processamento industrial das amostras de erva-mate

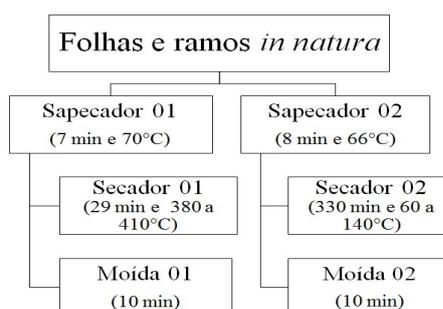


Figura 3 -Sapegador mecânico de erva-mate metálico giratório e inclinado



Sapegador 02 (Esteira): as amostras foram coletadas na saída do sapecador 02 com temperatura média de 66°C, onde as chamas do sapecador foram alimentadas automaticamente com cavaco de eucalipto de reflorestamento. Neste processo a erva-mate passa por um cilindro metálico giratório e inclinado (Scheffel) de 2,5 m diâmetro e 7 m de comprimento (Figura 4).

Secador 01 (Rotativo): amostra de erva-mate cancheada do secador tipo rotativo (Grimm), constituído de cilindros metálicos (Figura 5a). A temperatura da secagem foi de 380 a 410°C (Figura 5b).

Secador 02 (Esteira): amostras de erva-mate cancheada do secador tipo esteira (Scheffel) (Figura 6a). A temperatura da secagem foi de 60 a 140°C (Figura 6b);

Moída 01 (Rotativo): as amostras secas no secador rotativo foram coletadas após moagem em atritor (LB Equipamentos);

Figura 4 - Sapecador mecânico de erva-mate. A - Esteira de erva-verde; B - Alimentador automático de cavaco para a fornalha; C - Fornalha; D - Sapecador mecânico



Figura 5 - Secador rotativo de erva-mate (a). Folhas e ramos diretamente em contato com as chamas (b)



Moída 02 (Esteira): as amostras secas no secador esteira foram coletadas após moagem em atritor (LB Equipamentos).

Nesse sentido, as amostras de erva-mate foram cancheadas, ou seja, trituradas parcialmente (Moída 01 e 02) da mesma forma (Figura 7a), obtendo-se o mesmo tamanho de partículas com granulometria (<3 mm) em moinho atritor (Figura 7b).

A partir desses processos, as amostras compostas por folhas e palitos seguiram para posterior extração e análise de cafeína, fenóis totais e atividade antioxidante.

2.2 Teor de Umidade

O teor de umidade de todas as amostras de erva-mate foi realizado pelo analisador de umidade com balança de infravermelho (Shimadzu MOC63u), o qual tem aquecimento por lâmpada de halogênio. O equipamento foi programado para operação em modo rápido, com temperatura de 120°C.

2.3 Preparação dos Extratos

A extração assistida por ultrassom seguiu a metodologia descrita por (Damiani et al., 2014) com modificações. As amostras de folhas e talos da erva-mate *in natura* e sapecadas foram desintegradas manualmente, para melhorar as condições de extração. Na sequência foram pesadas 3 g de amostra e adicionados 100 mL de solvente hidroalcolico (álcool etílico 50%). O solvente foi escolhido em função da polaridade, o qual tem grande influência sobre a solubilidade de compostos fenólicos e por ser mais adequado para matrizes alimentícias. As extrações foram realizadas em banho ultrassônico (Unique), em potência máxima (40 kHz), por 120 min, mantendo a temperatura entre 20 e 25°C. Essas condições foram escolhidas por possibilitar a extração em temperatura ambiente, com tempo reduzido de processo e uso de pequena quantidade de solvente (Urnau et al., 2018).

Figura 6 - Secador de esteira de erva-mate (a). Saída da erva-mate sapecada na esteira (b)



Figura 7 – Erva-mate cancheada (fragmentada/moída) (a) e moinho atritor (b)



Encerrada a etapa de extração, filtrou-se os extratos, e o filtrado foi submetido ao processo de rotaevaporação em banho termostático (Marconi MA/20, Brasil) para separação do solvente (etanol) à 45°C. Os extratos aquosos foram submetidos ao congelamento em freezer -20°C (Brastemp) e desidratados em liofilizador (Edwards, Modulyo). Após a secagem, as amostras foram ressuspensas em solução etanolica 50% para uma concentração de 10 mg/mL. Os extratos foram armazenados em frasco âmbar sob refrigeração a 4 °C. O rendimento das extrações foi realizado de acordo com a Equação (1).

$$\text{Rendimento (\%)} = \frac{\text{Massafinal}}{\text{Massatotal}} \times 10 \quad (1)$$

Para a análise de cafeína foi utilizada a metodologia descrita pelo Instituto Adolf Lutz (IAL, 2008), com adaptações. Foi pesado cerca de 1,5 g de amostra em um béquer de 100 mL, na sequência foi adicionado 4 mL de ácido sulfúrico (Química Moderna), e esta solução foi homogeneizada. Em seguida a solução foi aquecida a 70°C em banho-maria por 15 min, e após adicionado 50 mL de água destilada quente, mantendo-se a solução em banho-maria por mais 15 min. Posteriormente, a solução foi filtrada a quente. Logo após, foi adicionado 30 mL de clorofórmio (Química Moderna), agitado, deixando separar duas camadas. A camada orgânica foi recolhida em um balão de fundo redondo de 250 mL, sendo esta extração repetida por mais 4 vezes com porções de 25 mL de clorofórmio. Após recolhidas as fases orgânicas de todas as extrações, o produto foi rotaevaporado. A solução aquosa foi dissolvida em água destilada, e submetida a leitura em espectrofotômetro UV-Visível (*LogenScientific* UV/VIS - LS7052) em 274 nm. Para cada amostra a análise foi realizada em triplicata. A determinação da quantidade de cafeína foi realizada por meio de uma curva de calibração previamente preparada nas concentrações de 5, 10, 25, 50 mg/L ($R^2=0.99$).

Para análise dos compostos fenólicos totais, foi utilizado o método Folin-Ciocalteu (Singleton e Rossi, 1965), com modificações para protocolo de utilização do espectrofotômetro de UV-VIS. Foram transferidos para um tubo de ensaio 100 µL da amostra (diluída a 1 mg/mL), 100 µL do reagente de Folin-Ciocalteu (diluído 1 para 3 mL, em água destilada) e 800 µL de água destilada. Esta mistura foi agitada em vortex e deixada em repouso por 5 min em ambiente escuro, após foi adicionado 100 µL de carbonato de sódio (Na_2CO_3 10 %) e agitado por 30 s. Na sequência manteve-se em repouso por 60 min em ambiente escuro até a leitura em espectrofotômetro UV-VIS em comprimento de onda de 760 nm, onde cada análise foi realizada em triplicata. A curva de calibração foi obtida utilizando ácido gálico nas concentrações de: 1, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 e 100 µg/mL ($R^2=0.997$).

A atividade antioxidante dos extratos de erva-mate foi determinada pelo método do radical 2,2-difenil-1-picril hidrazil (DPPH) (Kulisic et al., 2004), em triplicata. Foram feitas diluições de cada extrato de erva-mate em etanol (99,3%) para 1mg/mL (v/v). Na sequência, em tubos de ensaios foram preparadas soluções do extrato de: 1; 0,75; 0,5; 0,25; 0,2; 0,15; 0,1; 0,075; 0,05; 0,025; 0,02; 0,015; 0,01; 0,0075; 0,005; 0,0025; 0,002 e 0,0015 mg/mL. Posteriormente, foi pipetado em outro tubo de ensaio 1 mL de cada diluição e, posteriormente, adicionou-se 1 mL de DPPH, esta mistura foi agitada e deixada em repouso por 30 min em ambiente protegido da luz. A preparação da solução controle, procedeu-se da mesma forma substituindo 500µL da solução dos extratos por 500µL de etanol puro. As soluções denominadas branco foram preparadas usando as mesmas concentrações de extratos usadas para a análise em etanol, sem a adição da solução de DPPH. A leitura da atividade antioxidante foi realizada em espectro em comprimento de onda de 515 nm. O percentual de captação do radical DPPH foi calculado em termos da porcentagem de atividade antioxidante (AA%), de acordo com a Equação (2).

$$AA(\%) = \frac{(100 - (\text{Absda amostra ou curva} - \text{Abs do branco}))}{\text{Abs do controle}} * 100 \quad (2)$$

Após a avaliação da faixa de concentração ideal, calculou-se a concentração de extrato necessária para capturar 50% do radical livre DPPH (IC₅₀) por análise de regressão linear ($R^2=0.998$) (Silvestri et al., 2010). Os resultados das análises foram expressos em base seca.

2.4 Análise Estatística

As determinações analíticas foram realizadas em triplicata e os resultados foram avaliados estatisticamente pela análise ANOVA seguida do teste de *T Student* e *Tukey* com auxílio do software Statistic 5.0, ao nível de 95 % de confiança.

3 Resultado e Discussão

A Tabela 1 apresenta os resultados dos teores de umidade das amostras obtidas da erva-mate *in natura* e nos diferentes processos industriais.

A amostra *in natura* apresentou o maior conteúdo de umidade (Tabela 1), isso se deve a sua estrutura biológica que contém água. Com o processamento as amostras foram diminuindo o teor de umidade, sendo que as maiores reduções ocorreram no sapeco e na secagem de ambos processos industriais ($p<0,05$). A umidade da erva-mate após a moagem foi a que apresentou menor porcentagem para ambos os processos industriais. Na moagem verifica-se diferença significativa ($p<0,05$) entre as amostras. No sapeco (primeira etapa industrial) a erva-mate sofre um tratamento térmico, tendo como objetivo além da inativação enzimática, a redução da umidade. Já, durante o processo de secagem o produto com teor de umidade próximo a 25%, após a desidratação pode chegar a 5% (Valduga, Finzer, Mosele, 2003), o que corrobora com os resultados obtidos de umidade do presente trabalho.

Média ± Desvio padrão seguidas de letras iguais maiúsculas na linha (A, B) e letras iguais minúsculas (a, b) na coluna indicam não haver diferença significativa a nível de 5 % pelo teste de *Student* e *Tukey*, respectivamente.

Os teores de umidade encontrados nas amostras de erva-mate moída, variaram de 2,45% a 3,17% para os diferentes processos industriais. Os teores de umidade de erva-mate moída encontrados na literatura variaram de 3,63 % (Berté et al., 2006); 4,64 a 9,57 % (Renovatto, Agostini, 2008); 3,65 a 5,89 % (Braghini et al., 2014). A diferença nos percentuais de umidade, nesses casos, pode estar relacionada às condições de estocagem, umidade do ar e processo de beneficiamento.

A Resolução nº 277, de 22 de setembro de 2005 da ANVISA (BRASIL, 2005), que trata de parâmetros de identidade e qualidade da erva-mate, não determina mais o limite do teor de umidade no produto, que antes era de até 10% pela Resolução revogada nº 303 de 07 de novembro de 2002 da ANVISA (BRASIL, 2002). Os valores altos de umidade poderiam provocar a deterioração do produto, como crescimento microbiológico, alteração da cor e do sabor, alteração e perda de constituintes químicos.

Tabela 1 - Teor de umidade das amostras de erva-mate *in natura* e nos diferentes processos industriais.

	Umidade (%)	
<i>In natura</i>	38,50 ± 0,27	
Processo Industrial	Rotativo 01	Esteira 02
Sapecada	19,30 ^{A,a} ± 0,83	21,68 ^{A,a} ± 1,90
Seca	3,92 ^{A,b} ± 0,77	2,90 ^{A,b} ± 0,20
Moída	3,17 ^{A,b} ± 0,03	2,45 ^{B,b} ± 0,27

A Tabela 2 apresenta os rendimentos das extrações obtidas com ultrassom utilizando o solvente hidroalcolico das amostras de erva-mate *in natura* e obtida nas diferentes etapas de processamento industrial.

Tabela 2 - Rendimentos dos extratos de erva-mate *in natura* e nos diferentes processos industriais extraída com ultrassom utilizando solvente hidroalcolico.

	Rendimento (%)	
<i>In natura</i>	5,89	
Processo Industrial	Rotativo	Esteira
Sapecada	8,41	12,48
Seca	17,09	17,14
Moída	25,57	26,14

A extração da erva-mate após a moagem foi a que apresentou maior rendimento para ambos os processos industriais, rotativo e esteira, seguido do processo obtido da secagem, sapeco e *in natura*. Esse maior rendimento pode estar associado a menor umidade das amostras e ao menor tamanho de partículas. A concentração de sólidos totais pode refletir o rendimento do processo de extração, sendo influenciada pela solubilidade dos sólidos em solventes, tamanho de partícula da amostra e separação ou filtração das partículas sólidas (Zanella Pinto et al., 2021). Portanto, partículas menores tendem a favorecer os processos extrativos, pois possuem grande área de superfície de contato, além de dificultar sua remoção por processos de filtração, verifica-se que no processo industrial de moagem obteve-se maior rendimento dos extratos.

A extração assistida por ultrassom é um método sólido-líquido em que os efeitos das ondas de ultrassom proporcionam uma maior penetração do solvente no interior das células vegetais em um tempo reduzido, com maiores rendimentos e redução do uso de solvente (Bisognin et al., 2019). A extração assistida por ultrassom tem a vantagem de diminuir o tempo de extração do analito principalmente devido aos efeitos físicos e químicos causados pelo fenômeno da cavitação (Bisognin et al., 2019; Soria, Villamiel, 2010), rendendo até duas vezes mais matéria solúvel das folhas de erva-mate do que a infusão convencional na mesma temperatura (Kotovicz, Wypych, Zanoelo, 2014). Este método tem sido cada vez mais usado na extração de compostos como flavonóides (Sun, Liu, Wang, 2011), taninos e fenólicos

(Aspé, Fernández, 2011) devido à sua extração aprimorada de componentes bioativos e alimentares em temperaturas de processamento mais baixas, e a possibilidade de substituição de solventes orgânicos por geralmente reconhecidos como solventes seguros (Bisognin et al., 2019).

Diversos trabalhos foram realizados utilizando a extração assistida por ultrassom (EAU) em matrizes de plantas. Ou et al.(2001) utilizaram ultrassom e metanol em comparação ao método por Soxhlet, para a extração de sulfonato de alquilbenzeno linear em tecidos de plantas (caules e folhas de arroz), onde suas vantagens em relação à extração de Soxhlet foram velocidade, o consumo de menos solvente, e exigência de menor quantidade de amostra. Chen et al.(2015) utilizaram a EAU para extrair compostos fenólicos e antocianinas de melão de beterraba. Yuan et al.(2015) realizou um estudo com oito compostos bioativos, que foram extraídos de flores de crisântemo secas utilizando ultrassom. He et al.(2016) utilizaram a EAU para extrair compostos fenólicos e antocianinas do bagaço da produção de vinho de mirtilo, onde houve um acréscimo no rendimento da extração comparado ao método de extração convencional por solvente.

A Tabela 3 apresenta os resultados dos teores de cafeína dos extratos obtidos da erva-mate *in natura* e nos diferentes processos industriais.

Tabela 3 - Teor de cafeína dos extratos expressos em mg/L obtidos das amostras de erva-mate *in natura* e nos diferentes processos industriais.

	mg/L	
<i>In natura</i>	28,39 ± 0,16	
Processo Industrial	Rotativo	Esteira
Sapecada	31,40 ^{B,b} ± 0,51	34,35 ^{A,a} ± 2,06
Seca	37,71 ^{A,a} ± 0,01	34,89 ^{B,a} ± 0,51
Móida	37,63 ^{A,a} ± 0,92	34,37 ^{B,a} ± 0,34

Média ± Desvio padrão seguidas de letras iguais maiúsculas na linha (A, B) e letras iguais minúsculas (a, b) na coluna indicam não haver diferença significativa a nível de 5% pelo teste de *Student* e *Tukey*, respectivamente.

Verifica-se que com o processamento industrial ocorre um aumento no teor de cafeína em relação a amostra *in natura*. Nos extratos de erva-mate sapecada observa-se diferença significativa entre os processos rotativo e em esteira ($p < 0,05$). Contudo o teor de cafeína das amostras obtidas após a secagem e moagem em ambos os processos não apresentaram diferença significativa ($p > 0,05$). Estes resultados corroboram com a literatura (Esmelindro et al., 2002), nos quais é relatado que principalmente os processos de sapeco e secagem influenciam nos teores de cafeína. Em um trabalho realizado por Isolabella et al.(2010) foi observado um aumento das concentrações de cafeína na etapa de sapeco e secagem com relação às folhas verdes. O aumento da concentração de cafeína durante o sapeco pode ser devido às reações de degradação que envolvem os ácidos nucleicos deixando as purinas liberadas para a reação de síntese da cafeína.

Em erva-mate cultivada em solo com adubação orgânica houve um aumento no teor cafeína que variaram de 11 a 13,2 mg/L, referente a outros cultivos tradicionais de erva-mate (Zampier, 2001). Em outro estudo o teor de cafeína determinado na bebida à base de erva-mate foi de 66,6 mg/L (Barboza, 2006). A concentração de xantinas nas folhas da erva-mate está associada a fatores genéticos e ambientais (Dartora et al., 2011), sendo influenciadas pela época de colheita e processo de secagem.

Na erva-mate o amargor da planta e a ação estimulante estão atribuídas a cafeína, além disso, este composto tem ação sobre o sistema nervoso central e incita a diurese (Moreno-Mateos et al., 2017). A cafeína atua nos receptores da adenosina A2 nos neurônios dopaminérgicos D2 da substância negra, um mecanismo potencialmente implicado com um efeito neuroprotetor (Medeiros et al., 2021; Rivera-Oliver, Díaz-Ríos, 2014). Ao antagonizar esses receptores, a cafeína altera a transmissão da dopamina, protege contra a excitotoxicidade glutamatergica e radicais livres, como o óxido nítrico (Medeiros et al., 2021). A erva-mate tem efeito protetor sobre os neurônios dopaminérgicos, evitando a morte neuronal em cultura de células (Bernardi et al., 2019). Além disso, os efeitos antiobesidade da cafeína têm sido principalmente associados aos seus efeitos termogênicos (Zapata et al., 2020); a cafeína estimula a termogênese ao inibir a degradação induzida por fosfodiesterase de Camp (Diepvens et al., 2007) e induzindo o escurecimento do tecido adiposo (aumentando o conteúdo mitocondrial, a expressão de UPC1 e a respiração celular) (Velickovic et al., 2019). Além disso, foi sugerido que a cafeína aumenta a lipólise, a oxidação de gordura e reduz a lipogênese (Harpaz et al., 2016).

A Tabela 4 apresenta os resultados dos compostos fenólicos totais dos extratos obtidos da erva-mate *in natura* e nos diferentes processos industriais.

Verifica-se que o teor de compostos fenólicos totais das amostras de erva-mate nos diferentes processos industriais, no geral, não apresentou diferença significativa ($p > 0,05$), contudo foram maiores em relação a amostra *in natura*. No processamento industrial, somente observou-se diferença significativa na amostra de erva-mate sapecada do processo rotativo ($p < 0,05$). Isso indica que os processos industriais rotativo e esteira, ambos mantiveram esse constituinte.

Tabela 4 - Compostos fenólicos totais dos extratos expressos em mg EAG/g obtidos das amostras de erva-mate *in natura* e nos diferentes processos industriais.

	mg EAG/g	
<i>In natura</i>	219,48 ± 4,71	
Processo Industrial	Rotativo	Esteira
Sapecada	244,15 ^{A,b} ± 15,09	265,02 ^{A,a} ± 11,65
Seca	291,71 ^{A,a} ± 13,88	288,57 ^{A,a} ± 8,15
Moída	285,04 ^{A,a} ± 5,01	295,26 ^{A,a} ± 16,67

Média ± Desvio padrão seguidas de letras iguais maiúsculas na linha (A, B) e letras iguais minúsculas (a, b) na coluna indicam não haver diferença significativa a nível de 5% pelo teste de Student e Tukey, respectivamente.

A extração e a solubilidade dos compostos fenólicos dependem da polaridade do solvente e grau de polimerização dos mesmos, indicando que os mesmos foram polimerizados e extraídos das amostras. As folhas e ramos de erva-mate possuem diferentes classes e concentrações de compostos fenólicos (Pagliosa et al., 2010; Zanella Pinto et al., 2021), por exemplo, há maior concentração de compostos nas folhas do que nos ramos, corroborando em uma variação natural de cor, sabor e composição fitoquímica (Medeiros et al., 2021).

O teor de compostos fenólicos totais foi maior quando comparado com trabalhos encontrados na literatura científica que também utilizaram folhas de erva-mate seca, sendo observado 145 mg EAG/g em folhas secas de erva-mate extraída em banho-maria a 50°C (Asolini et al., 2006), na extração com solvente etanólico foi obtido 58,71±0,82 mg EAG/g (Riccio, 2019). Essa diferença no teor de compostos fenólicos totais pode ser devido aos fatores ambientais e grau de exposição solar. De acordo com (Dartora et al., 2011) quanto maior o grau de exposição solar da planta de erva-mate, maior foi o nível de ácidos clorogênicos encontrados, os quais se devem ao mecanismo de resposta fisiológico de defesa da planta.

Os principais compostos fenólicos (polifenóis) encontrados na erva-mate são ácidos fenólicos (Ribeiro et al., 2017), ácidos monocateoiquínicos (Bremer boaventura et al., 2015) e ácidos dicafeoiquínicos (Ribeiro et al., 2017). Eles possuem funcionalidades devido sua à ação antioxidante, hipocolesterolêmico, anti-inflamatório, diurético e hepatoprotetor (Da Silva et al., 2015; Fernandes et al., 2016). Além disso, é uma ótima fonte fenólica oral, pois seus polifenóis estão disponíveis após a digestão, aumentando assim a absorção intestinal (Miranda et al., 2017). Alam et al. (2016) constatou que o ácido clorogênico auxilia na redução de colesterol total e de triglicérides, com propriedades anti-inflamatórias, pode contribuir para melhora na resistência a insulina e controle do diabetes, além de contribuir para redução do peso corporal. Para Cittadini et al. (2018), em um estudo realizado em camundongos com adenocarcinoma de pulmão, a redução de interleucina 6 (IL-6) relacionada a erva-mate foi consistente com a atividade antiinflamatória de seus compostos fenólicos (Cittadini et al., 2018). As funções diencefálicas são cruciais para a integração orgânica e dependem de muitos fatores, como nutrição, imunidade e neurotransmissão (Schreiner et al., 2017), sendo os compostos fenólicos capazes de regulá-los levando a respostas locais e sistêmicas benéficas (Miranda et al., 2017).

Em um estudo realizado (Heck et al., 2008), verificou-se forte correlação entre os processamentos industriais e a concentração de polifenóis, confirmando que maiores concentrações de polifenóis na erva-mate proporcionam maior capacidade antioxidante, o que corrobora com os resultados encontrados no presente estudo.

Os resultados de atividade antioxidante obtidos através da extração por ultrassom das amostras de erva-mate utilizando radical estável 1, 1- difenil-2picril-hidrazila (DPPH) expressos IC₅₀ (mg/mL) estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Atividade antioxidante dos extratos expressos em IC₅₀ (mg/mL) obtidos das amostras de erva-mate in natura e nos diferentes processos industriais.

	IC ₅₀ (mg/mL)	
<i>In natura</i>	0,021 ± 0,001	
Processo Industrial	Rotativo	Esteira
Sapecada	0,014 ^{A,a} ± 0,001	0,016 ^{A,a} ± 0,002
Seca	0,012 ^{A,a} ± 0,001	0,013 ^{A,a} ± 0,001
Moída	0,013 ^{A,a} ± 0,001	0,015 ^{A,a} ± 0,001

Média ± Desvio padrão seguidas de letras iguais maiúsculas na linha (A, B) e letras iguais minúsculas (a, b) na coluna indicam não haver diferença significativa a nível de 5% pelo teste de *TStudenteTukey*, respectivamente.

A capacidade antioxidante dos extratos da erva-mate dos diferentes processos industriais foi maior que a apresentada pelo extrato da erva-mate *in natura*. Verifica-se que a atividade antioxidante de todas as amostras de erva-mate não apresentou diferença significativa ($p > 0,05$) nos diferentes processos industriais. Este estudo apresentou altos valores de IC₅₀, sugerindo que o extrato hidroalcolóico obtido das amostras de erva-mate dos diferentes processos industriais possui alta atividade antioxidante.

A atividade antioxidante apresentada em IC₅₀ é dividida em 3 grupos: alto (IC₅₀ < 0,02 mg/mL), moderado (0,02 mg/mL < IC₅₀ < 0,075 mg/mL) e baixo (IC₅₀ > 0,075 mg/mL), conforme Sourì et al., (2008). Segundo esta classificação, os extratos da erva-mate obtidos das amostras dos diferentes processos industriais apresentaram uma alta atividade antioxidante.

Samodova et al. (2018) avaliaram a atividade antioxidante do extrato etanólico (50%) de erva-mate e obtiveram valores de IC₅₀ igual a 0,37 mg/mL. Huang et al. (2014) obtiveram a atividade antioxidante do extrato aquoso de erva-mate por DPPH de 0,413 mg/mL. A erva-mate é um forte antioxidante e pode inibir o desenvolvimento de várias doenças (Mazur et al., 2019) e o desenvolvimento de vírus, inibindo os radicais livres no organismo, prevenindo de radicais livres altamente reativos, bem como reduz a citotoxicidade do colesterol oxidado (Kessler, Ubeaud, Jung, 2003). Portanto, verifica-se que o processo industrial é interessante pois aumenta a concentração de antioxidante no erva-mate tipo chimarrão. Em um estudo com indivíduos saudáveis (Bremer Boaventura et al., 2015) observou melhora nos sistemas antioxidantes de defesa e de peroxidacão lipídica, após o consumo da infusão de erva-mate, com aumento significativo das enzimas antioxidantes catalase, superóxido dismutase, glutationaperoxidase e de glutatona reduzida.

Desse modo, os altos teores dos compostos fenólicos encontrados nos extratos da erva-mate processada apresentaram atividade antioxidante. A erva-mate processada para chimarrão pode apresentar efeitos biológicos, incluindo as ações antioxidante atuando como agentes redutores, sequestrantes de radicais livres, além de agirem como quelantes de metais, contribuindo para a saúde dos consumidores. Associado com o efeito energético e estimulante observado pelo alto teor de cafeína, indicam que esses constituintes encontrados na erva-mate podem apresentar benefícios de grande valor terapêutico quando

consumidos por meio do chimarrão. Os estudos sobre erva-mate na saúde humana ao longo dos anos, indicam que a erva-mate pode contribuir em vários aspectos da saúde, desde efeitos estimulantes, como também ser utilizada como adjuvante para o tratamento de dislipidemias e, conseqüentemente, prevenindo doenças cardíacas e auxiliando, de maneira efetiva, na perda de peso.

4 Conclusões

Verificou-se um bom rendimento das extrações, onde após a moagem da erva-mate para chimarrão teve-se um valor maior que 25%. Nos processos industriais (sapeco, secagem e moagem) a erva-mate apresentou perda de umidade gradativa, apresentando valores de 3,17 e 2,45% nos processos rotativo e esteira, respectivamente. Os extratos da erva-mate apresentaram uma alta atividade antioxidante, ou seja, com valores de IC_{50} de 0,013 e 0,015mg/mL para as amostras moídas obtidas no processo rotativo e esteira, respectivamente. Em relação aos processos industriais o teor de cafeína, compostos fenólicos e IC_{50} não tiveram variação. Contudo, quando comparado com matéria-prima *in natura*, houve no geral valores maiores, em torno 1,3 vezes. Desse modo, a ingestão da erva-mate na forma de chimarrão, pode ser um meio muito eficaz e econômico para propiciar uma importante quantidade de compostos bioativos que podem fortalecer o sistema de defesa do organismo.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - FinanceCode 001e a Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões URI Erechim pela infraestrutura.

Referências

- Alam, M.; Subhan, N.; Hossain, H.; Hossain, M.; Reza, H.; Rahman, M. M.; Ullah, M. O. Hydroxycinnamic acid derivatives: a potential class of natural compounds for the management of lipid metabolism and obesity. *Nutrition & Metabolism*, v. 13, 2016.
- Asolini, F. C.; Tedesco, A. M.; Carpes, S. T.; Ferraz, C.; Alencar, S. M. Atividade antioxidante e antibacteriana dos compostos fenólicos dos extratos de plantas usadas como chás. *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 9, p. 206–215, 2006.
- Aspé, E.; Fernández, K. The effect of different extraction techniques on extraction yield, total phenolic, and anti-radical capacity of extracts from *Pinus radiata* Bark. *Industrial Crops and Products*, v. 34, n. 1, p. 838–844, 2011.
- Atanasov, A. G.; Waltenberger, B.; Pferschy-Wenzig, E.-M.; Linder, T.; Wawrosch, C.; Uhrin, P.; Temml, V.; Wang, L.; Schwaiger, S.; Heiss, E. H.; Rollinger, J. M.; Schuster, D.; Breuss, J. M.; Bochkov, V.; Mihovilovic, M. D.; Kopp, B.; Bauer, R.; Dirsch, V. M.; Stuppner, H. Discovery and

- resupply of pharmacologically active plant-derived natural products: A review. *Biotechnology Advances*, v. 33, n. 8, p. 1582–1614, 2015.
- Barboza, L. M. V. Desenvolvimento de bebida à base de erva-mate (*Ilex paraguariensis* Saint Hilaire) adicionada de fibra alimentar. Universidade Federal do Paraná, 2006.
- Bernardi, M.; Ballesteros, P.; Schenk, M.; Ferrario, M.; Gomez, G.; Rivero, R.; Avale, E.; Taravini, I.; Gershanik, O.; Guerrero, S.; Ferrario, J. Yerba mate (*Ilex paraguariensis*) favors survival and growth of dopaminergic neurons in culture. *Movement Disorders*, v. 34, p. 920-922, 2019.
- Berté, K. A. S.; Freitas, R. J. S.; Rucker, N. G. A.; Rapacci, M. Vida-de-prateleira: microbiologia da erva-mate chimarrão. *Acta Farmacéutica Bonaerense*, v. 25, n. 1, p. 95–98, 2006.
- Bisognin, D. A.; Luz, L. V. DA; Lencina, K. H.; Santos, C. O. DOS; Sautter, C. K. Contents of total phenolics and flavonoids in and antioxidant activity of *Ilex paraguariensis* leaves. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 54, p. e0085, 2019.
- Bracesco, N.; Sanchez, A. G.; Contreras, V.; Menini, T.; Gugliucci, A. Recent advances on *Ilex paraguariensis* research: Minireview. *Journal of ethnopharmacology*, v. 136, p. 378–384, 2011.
- Braghini, F.; Carli, C. G.; Bonsaglia, B.; Silveira Junior, J. F. S.; Oliveira, D. F. Tramujas, J.; Tonial, I. B. Composição físico-química de erva-mate, antes e após simulação do chimarrão. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, v. 20, p. 7–15, 2014.
- Brasil. Resolução RDC n. 303, de 7 de novembro de 2002. Aprova o Regulamento Técnico para Fixação de Identidade e Qualidade do Composto de Erva-Mate, 2002.
- Brasil. Resolução RDC n. 277, de 22 de setembro de 2005. Aprova o regulamento técnico para café, cevada, chá, erva-mate e produtos solúveis, 2005.
- Bremer boa Ventura, B. C.; DA Silva, E. L.; Liu, R. H.; Prudêncio, E. S.; di Pietro, P. F.; Becker, A. M.; de Mello Castanho Amboni, R. D. Effect of yerba mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil.) infusion obtained by freeze concentration technology on antioxidant status of healthy individuals. *LWT - Food Science and Technology*, v. 62, n. 2, p. 948–954, 2015.
- Chemat, F.; Rombaut, N.; Sicaire, A.-G.; Meullemiestre, A.; Fabiano-Tixier, A.-S.; Abert-Vian, M. Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, v. 34, p. 540–560, 2017.
- Chen, M.; Zhao, Y.; YU, S. Optimisation of ultrasonic-assisted extraction of phenolic compounds, antioxidants, and anthocyanins from sugar beet molasses. *Food Chemistry*, v. 172, p. 543–550, 2015.
- Cittadini, M. C.; García-Estévez, I.; Escribano-Bailón, M. T.; Rivas-Gonzalo, J.; Valentich, M. A.; Repossi, G.; Soria, E. A. Modulation of fatty acids and interleukin-6 in glioma cells by South American tea extracts and their phenolic compounds. *Nutrition and Cancer*, v. 70, p. 267–277, 2018.
- Croge, C. P.; Cuquel, F. L.; Pintro, P. T. M. Yerba mate: cultivation systems, processing and chemical composition. A review. *Scientia Agricola*, v. 78, n. 5, p. 1–11, 2021.
- Da Silva, C. H.; Chaves, V.; Schenkel, E.; Coelho, G.; Reginatto, F. The influence of leaf age on methylxanthines, total phenolic content, and free radical scavenging capacity of *Ilex paraguariensis* aqueous extracts. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, v. 45, p. 1-6, 2015.

- Damiani, E.; Bacchetti, T.; Padella, L.; Tiano, L.; Carloni, P. Antioxidant activity of different white teas: Comparison of hot and cold tea infusions. *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 33, p. 59–66, 2014.
- Dartora, N.; DE Souza, L. M.; Santana-Filho, A. P.; Iacomini, M.; Valduga, A. T.; Gorin, P. A. J.; Sasaki, G. L. UPLC-PDA–MS evaluation of bioactive compounds from leaves of *Ilex paraguariensis* with different growth conditions, treatments and ageing. *Food Chemistry*, v. 129, n. 4, p. 1453–1461, 2011.
- Diepvens, K.; Westerterp, K. R.; Westerterp-Plantenga, M. S. Obesity and thermogenesis related to the consumption of caffeine, ephedrine, capsaicin, and green tea. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, v. 292, n. 1, p. R77–R85, 2007.
- Esmelindro, M.; Toniazzo, G.; Waczuk, A.; Dariva, C.; Oliveira, D. Caracterização físico-química da erva-mate: influência das etapas do processamento industrial. *Ciência Tecnologia de Alimentos*, v. 22, 193-204, 2002.
- Fernandes, C. E. F.; Kuhn, F.; Scapinello, J.; Lazarotto, M.; Bohn, A.; Boligon, A. A.; Athayde, M. L.; Zanatta, M. S.; Zanatta, L.; Dal magro, J.; Oliveira, J. V. Phytochemical profile, antioxidant and hypolipemiant potential of *Ilex paraguariensis* fruit extracts. *Industrial Crops and Products*, v. 81, p. 139–146, 2016.
- Harpaz, E.; Tamir, S.; Weinstein, A.; Weinstein, Y. The effect of caffeine on energy balance. *Journal of basic and clinical physiology and pharmacology*, v. 28, p. 1-10, 2016.
- He, B.; Zhang, L.-L.; Yue, X.-Y.; Liang, J.; Jiang, J.; Gao, X.-L.; Yue, P.-X. Optimization of Ultrasound-Assisted Extraction of phenolic compounds and anthocyanins from blueberry (*Vaccinium ashei*) wine pomace. *Food Chemistry*, v. 204, p. 70–76, 2016.
- Huang, W.-Y.; Lee, P.-C.; HSU, J.-C.; Lin, Y.-R.; Chen, H.-J.; Lin, Y.-S. Effects of water quality on dissolution of yerba mate extract powders. *The Scientific World Journal*, v. 2014, p. 1–6, 2014.
- I. Heck, C.; Schmalko, M.; Gonzalez DE Mejia, E.; Heck, C. I.; Schmalko, M.; Gonzalezde Mejia, E. Effect of growing and drying conditions on the phenolic composition of mate teas (*Ilex paraguariensis*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 56, n. 18, p. 8394–8403, 2008.
- IAL. Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 2008.
- Isolabella, S.; Cogoi, L.; López, P.; Anesini, C.; Ferraro, G.; Filip, R. Study of the bioactive compounds variation during yerba mate (*Ilex paraguariensis*) processing. *Food Chemistry*, v. 122, n. 3, p. 695–699, 2010.
- Kessler, M.; Ubeaud, G.; Jung, L. Anti- and Pro-oxidant activity of rutin and quercetin derivatives. *The Journal of pharmacy and pharmacology*, v. 55, p. 131–142, 2003.
- Kotovicz, V.; Wypych, F.; Zanoelo, E. Pulsed hydrostatic pressure and ultrasound assisted extraction of soluble matter from mate leaves (*Ilex paraguariensis*): Experiments and modeling. *Separation and Purification Technology*, v. 132, p. 1–9, 2014.
- Kulusic, T.; Radonic, A.; Katalinic, V.; Milos, M. Use of different methods for testing antioxidative activity of oregano essential oil. *Food Chemistry*, v. 85, n. 4, p. 633–640, 2004.

- Ludka, F.; Tandler, L.; Kuminek, G.; Olescowicz, G.; JACOBSEN, J.; MOLZ, S. *Ilex paraguariensis* hydroalcoholic extract exerts antidepressant-like and neuroprotective effects. *Behavioural Pharmacology*, v. 27, p. 1, 2015.
- Mazur, M.; Zwyrzykowska-Wodzińska, A.; Wojtas, E.; Zachwieja, A.; Salejda, A. Effect of yerba mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) supplementation on oxidative stress in ruminants. *Chilean journal of agricultural research*, v. 79, p.316-322, 2019.
- Medeiros, M. S.; Schumacher-Schuh, A. F.; Altmann, V.; Rieder, C. R. de M. A Case–Control Study of the Effects of Chimarrão (*Ilex paraguariensis*) and Coffee on Parkinson’s Disease. *Frontiers in Neurology*, v. 12, p. 160, 2021.
- Miranda, A. R.; Cittadini, M. C.; Albrecht, C.; Soria, E. A. Regional oxidative stress in encephalon of female mice with polyphenolic exposure from tea extracts in oral overweight plant-based treatment. *Revista de la Facultad de Ciencias Médicas*, v. 74, n. 3, p. 197, 2017.
- Moreno-Mateos, M.; Fernández, J.; Rouet, R.; Vejnar, C.; Lane, M.; Mis, E.; Khokha, M.; Doudna, J.; Giraldez, A. Crispr-Cpf1 mediates efficient homology-directed repair and temperature-controlled genome editing. *Nature Communications*, v. 8, p. 2024, 2017.
- Murakami, A.; Amboni, R.; Prudêncio, E.; Amante, E.; Zanotta, L.; Maraschin, M.; Petrus, J.; Teófilo, R. Concentration of phenolic compounds in aqueous mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil) extract through nanofiltration. *LWT - Food Science and Technology*, v. 44, p. 2211–2216, 2011.
- Ou, B.; Hampsch-Woodill, M.; Prior, R. L. Development and validation of an improved oxygen radical absorbance capacity assay using fluorescein as the fluorescent probe. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 49, n. 10, p. 4619–4626, out. 2001.
- Pagliosa, C.; Vieira, M.; Podestá, R.; Maraschin, M.; Bertarello zen, A.; Amante, E.; Amboni, R. Methylxanthines, phenolic composition, and antioxidant activity of bark from residues from mate tree harvesting (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil.). *Food Chemistry*, v. 122, p. 173–178, 2010.
- Prudêncio, A. P. A.; Prudêncio, E. S.; Amboni, R. D. M. C.; Murakami, A. N. N.; Maraschin, M.; Petrus, J. C. C.; Ogliari, P. J.; Leite, R. S. Phenolic composition and antioxidant activity of the aqueous extract of bark from residues from mate tree (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) bark harvesting concentrated by nanofiltration. *Food and Bioproducts Processing*, v. 90, n. 3, p. 399–405, 2012.
- Renovatto, Y. P. Agostini, J. Qualidade microbiológica e físico-química de amostras de erva-mate (*Ilex paraguariensis*) comercializadas em Dourados, MS. *Interbio*, v. 2, n. 2, p. 12–20, 2008.
- Ribeiro, M.; Santos, Â.; Riachi, L.; Rodrigues, A.; Coelho, G.; Marcellini, P.; Bento, C.; Maria, C. A. B. The effects of roasted yerba mate (*Ilex paraguariensis* A. ST. Hil.) consumption on glycemia and total serum creatine phosphokinase in patients with traumatic brain injury. *Journal of Functional Foods*, v. 28, p. 240–245, 2017.
- Riccio, D. P. Obtenção, caracterização e microencapsulação de extrato de erva-mate (*Ilex paraguariensis*). Universidade Federal da Fronteira Sul, 2019.

- Rivera-Oliver, M.; Díaz-Ríos, M. Using caffeine and other adenosine receptor antagonists and agonists as therapeutic tools against neurodegenerative diseases: A review. *Life Sciences*, v. 101, n. 1–2, p. 1–9, 2014.
- Samodova, D.; Boroduške, A.; Ramata-stunda, A.; Mazarova, N.; Nikolajeva, V.; Boroduskis, M.; Nakurte, I. Anti-bacterial activity and online HPLC-DPPH based antiradical kinetics of medicinal plant extracts of high relevance for cosmetics production. *Key Engineering Materials*, v. 762, p. 8–13, 2018.
- Schreiner, F.; Ackermann, M.; Michalik, M.; Hucklenbruch-Rother, E.; Bilkei-Gorzo, A.; Racz, I.; Bindila, L.; Lutz, B.; Dötsch, J.; Zimmer, A.; Woelfle, J. Developmental programming of somatic growth, behavior and endocannabinoid metabolism by variation of early postnatal nutrition in a cross-fostering mouse model. *PLOS ONE*, v. 12, n. 8, p. e0182754, 31 ago. 2017.
- Silva, H.; Silva, C.; Bolanho, B. Ultrasonic-assisted extraction of betalains from red beet (*Beta vulgaris* L.). *Journal of Food Process Engineering*, v. 41, p. e12833, 2018.
- Silvestri, J. D. F.; Paroul, N.; Czyewski, E.; Lerin, L.; Rotava, I.; Cansian, R. L.; Mossi, A.; Toniazzo, G.; Oliveira, D. De; Treichel, H. Chemical composition and antioxidant and antibacterial activities of clove essential oil (*Eugenia caryophyllata* Thunb). *Revista Ceres*, v. 57, n. 5, p. 589–594, 2010.
- Singleton; Rossi. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, v. 16, p. 144–168, 1965.
- Soria, A. C.; Villamiel, M. Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: a review. *Trends in Food Science & Technology*, v. 21, n. 7, p. 323–331, 2010.
- Souri, E.; Amin, G.; Farsam, H.; Barazandeh tehrani, M. Screening of antioxidant activity and phenolic content of 24 medicinal plant extracts. *Daru*, v. 16, p. 83–87, 2008.
- Sun, Y.; Liu, Z.; Wang, J. Ultrasound-assisted extraction of five isoflavones from *Iris tectorum* Maxim. *Separation and Purification Technology*, v. 78, p. 49–54, 2011.
- Tiwari, B. K.; Valdramidis, V. P.; O’Donnell, C. P.; Muthukumarappan, K.; Bourke, P.; Cullen, P. J. Application of natural antimicrobials for food preservation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 57, n. 14, p. 5987–6000, 22 jul. 2009.
- Urnau, L.; Colet, R.; Soares, V. F.; Franceschi, E.; Valduga, E.; Steffens, C. Extraction of carotenoids from *Xanthophyllomyces dendrorhous* using ultrasound-assisted and chemical cell disruption methods. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, v. 96, n. 6, p. 1377–1381, 9 jun. 2018.
- VALDUGA, A. T.; FINZER, J. R. D.; MOSELE, S. H. *Processamento de Erva-Mate*. Erechim: Edifapes, 2003.
- Velickovic, K.; Wayne, D.; Leija, H. A. L.; Bloor, I.; Morris, D. E.; Law, J.; Budge, H.; Sacks, H.; Symonds, M. E.; Sottile, V. Caffeine exposure induces browning features in adipose tissue in vitro and in vivo. *Scientific Reports*, v. 9, n. 1, p. 9104, 24 dez. 2019.
- Vieira, G. S. *Estudo dos processos de extração de Antocianinas da polpa de juçara (Euterpe edulis Mart.) e da concentração do extrato por nanofiltração*. UNICAMP, 2015.

- Yuan, J.; Huang, J.; Wu, G.; Tong, J.; Xie, G.; Duan, J.; Qin, M. Multiple responses optimization of ultrasonic-assisted extraction by response surface methodology (RSM) for rapid analysis of bioactive compounds in the flower head of *Chrysanthemum morifolium* Ramat. *Industrial Crops and Products*, v. 74, p. 192–199, 2015.
- Zampier, A. C. Avaliação dos níveis de nutrientes, cafeína e taninos após adubação mineral e orgânica, e sua relação com produtividade na erva-mate (*Ilex paraguariensis* St Hil.). Universidade Federal do Paraná, 2001.
- Zanella Pinto, V.; Pilatti riccio, D.; Costa, E.; Micheletto, Y.; Quast, E.; Santos, G. Phytochemical composition of extracts from yerba mate chimarrão. *SN Applied Sciences*, v. 3, p. 353, 2021.
- Zapata, F. J.; Rebollo-Hernanz, M.; Novakofski, J. E.; Nakamura, M. T.; Gonzalez DE Mejia, E. Caffeine, but not other phytochemicals, in mate tea (*Ilex paraguariensis* St. Hilaire) attenuates high-fat-high-sucrose-diet-driven lipogenesis and body fat accumulation. *Journal of Functional Foods*, v. 64, p. 103646, 2020.
- Zuin, V.; Montero, L.; Bauer, C.; Popp, P. Stir bar sorptive extraction and high-performance liquid chromatography-fluorescence detection for the determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in Mate teas. *Journal of chromatography. A*, v. 1091, p. 2–10, 2005.