

Secagem, toxicidade e potencial antimicrobiano do óleo essencial de *Curcuma longa* L.
Drying, toxicity and antimicrobial potential of *Curcuma longa* L essential oil
Secado, toxicidad y potencial antimicrobiano del aceite esencial *Curcuma longa* L.

Recebido: 26/06/2020 | Revisado: 28/06/2020 | Aceito: 03/07/2020 | Publicado: 15/07/2020

Everton Holanda Sales

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9497-9103>

Laboratório de Pesquisa e Aplicação de Óleos Essenciais, Brasil

E-mail: everhs16@gmail.com

Gustavo Oliveira Everton

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0457-914X>

Laboratório de Pesquisa e Aplicação de Óleos Essenciais, Brasil

E-mail: gustavooliveiraeverton@gmail.com

Paulo Victor Serra Rosa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1782-5896>

Laboratório de Pesquisa e Aplicação de Óleos Essenciais, Brasil

E-mail: paullovictorserra@gmail.com

Carlos Eduardo Pereira Conceição

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6735-9291>

Hospital Guarás, Brasil

E-mail: dudaecarol21@gmail.com

Feliciano Santos Pinheiro

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7677-4537>

Universidade Federal do Maranhão, Brasil

E-mail: feliciano.pinheiro@huufma.br

Simone Nunes Leal Chagas

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9536-9315>

Universidade Federal do Maranhão, Brasil

E-mail: symonnunes@hotmail.com

Christyann Lima Campos Batista

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5431-5620>

Hospital Universitário da Universidade Federal do Maranhão, Brasil

E-mail: christyann.batista@huufma.br

Liane Batista da Cruz Soares

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9548-3911>

Hospital Universitário da Universidade Federal do Maranhão, Brasil

E-mail: lianebatistadacruz@hotmail.com

Ana Maria Almeida Silva Carvalho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2075-5780>

Hospital Universitário da Universidade Federal do Maranhão, Brasil

E-mail: aninha_biomed@yahoo.com.br

Igor Santos da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9509-6812>

Faculdade Estácio, Brasil

E-mail: igorsil_va22@hotmail.com

Ari Pereira de Araújo Neto

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6903-4127>

Faculdade UNINASSAU São Luís, Brasil

E-mail: aripereiraneto@gmail.com

Victor Elias Mouchrek Filho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2855-7292>

Laboratório de Pesquisa e Aplicação de Óleos Essenciais, Brasil

E-mail: victor.mouchrek@ufma.br

Resumo

Este estudo teve por objetivo realizar a secagem dos rizomas de *Curcuma longa* L. aplicando modelagem matemática, determinou a atividade antimicrobiana e a toxicidade do óleo essencial (OE) obtido após o processo de secagem aplicado. O material vegetal coletado foi submetido a estufa convectiva de secagem a temperatura 45 °C. Modelos matemáticos foram aplicados para representar o processo de secagem e análise estatística realizada utilizando o software estatística 10. Os OE's foram obtidos através da técnica de hidrodestilação e a atividade antimicrobiana pelo Método de Difusão de Disco e Diluição em Caldo frente a *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Salmonella* sp. Para o teste de toxicidade, foi aplicado o bioensaio de *Artemia salina*. Através dos resultados obtidos foi possível determinar que o modelo matemático de Logarithm foi o que melhor se encaixava nos dados experimentais. O OE apresentou atividade bactericida frente a todos os microrganismos testados. O ensaio de toxicidade comprovou a toxicidade do OE com uma CL₅₀ superior a 250

mg/L. Os resultados obtidos comprovam o potencial necessário para a aplicação do OE dos rizomas de *C. longa* como antimicrobiano, sendo ainda não tóxico frente a organismos não-alvo.

Palavras-chave: Antimicrobiano; *Curcuma*; Toxicidade; Rizomas.

Abstract

This study aimed to dry the rhizomes of *Curcuma longa* L. applying mathematical modeling, determined the antimicrobial activity and toxicity of the essential oil (EO) obtained after the drying process applied. The collected plant material was submitted to convective drying kiln at 45 °C. Mathematical models were applied to represent the drying process and statistical analysis performed using the statistica software 10. The EOs were obtained through the hydrodistillation technique and antimicrobial activity by the Disc Diffusion and Dilution Method in Broth against *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* and *Salmonella sp.* For the toxicity test, the *Artemia salina* bioassay was applied. Through the results obtained it was possible to determine that Logarithm's mathematical model was the one that best fit the experimental data. The EO showed bactericidal activity against all microorganisms tested. The toxicity test proved the toxicity of EO with a LC₅₀ greater than 250 mg/L. The results obtained prove the potential required for the application of EO of *C. longa* rhizomes as antimicrobial, and is still non-toxic to non-target organisms.

Keywords: Antimicrobial; *Curcuma*; Toxicity; Rhizomes.

Resumen

Este estudio tuvo como objetivo secar los rizomas de *Curcuma longa* L. aplicando el modelado matemático, determinó la actividad antimicrobiana y la toxicidad del aceite esencial (AE) obtenido tras el proceso de secado aplicado. El material vegetal recogido se sometió a un horno de secado convectivo a 45 °C. Se aplicaron modelos matemáticos para representar el proceso de secado y el análisis estadístico realizado utilizando el software estadístico 10. Los AE se obtuvieron a través de la técnica de hidrodestulación y la actividad antimicrobiana mediante el Método de Difusión de Discos y Dilución en Caldo contra *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Salmonella sp.* Para la prueba de toxicidad, se aplicó el bioensayo de *Artemia salina*. A través de los resultados obtenidos fue posible determinar que el modelo matemático del logaritmo era el que mejor se ajustaba a los datos experimentales. La AE mostró actividad bactericida contra todos los microorganismos analizados. El ensayo de toxicidad demostró toxicidad AE con un CL₅₀ superior a 250 mg/L. Los resultados obtenidos

demuestran el potencial necesario para la aplicación de AE de los rizomas de *C. longa* como antimicrobianos, y siguen siendo no tóxicos contra organismos no objetivo.

Palabras clave: Antimicrobiano; *Curcuma*; Toxicidad; Rizomas.

1. Introdução

Desde a antiguidade, as plantas medicinais utilizadas como especiarias sempre foram de alto valor e de grande procura. Sua utilização na alimentação agrega sabor ou atuam como conservantes para os alimentos, sendo utilizadas secas ou em sua forma natural (Tavares et al., 2018). Com o avanço tecnológico e estudos químicos e farmacológicos das plantas medicinais com a finalidade de se obter compostos com usos terapêuticos, sua utilização tem aumentado de forma significativa na sociedade exigindo a necessidade de estudos para conhecer suas propriedades e possíveis utilizações (Tavares et al., 2018).

A crescente demanda para o melhor processamento destes produtos torna essencial o estudo da secagem e armazenamento, para que a biomassa produzida pela planta e suas propriedades químicas possam ser aproveitadas de forma integral e efetiva (Tabaldi et al., 2012; Martins et al., 2015). Dentre estes compostos se destacam os constituintes químicos existentes nos óleos essenciais (OE's) das plantas, pois pertencem ao maior e mais diversificado grupo dentro dos produtos naturais e por apresentarem uma grande importância terapêutica e econômica (Silva et al., 2003).

Desta forma, a manutenção da qualidade pós-colheita, bem como a conservação dos compostos que serão utilizados na produção de fitoterápicos, é fundamental que as plantas medicinais tenham imediatamente seu teor de água reduzido após a colheita (Goneli, 2008). Dentro disto, a secagem é o processo mais recomendado para assegurar a manutenção da qualidade e da estabilidade pós-colheita. Por cada produto possuir características específicas, os métodos e as condições de secagem devem ser adequados para cada material (Silva et al., 2015).

Neste sentido, torna-se necessária a obtenção de informações teóricas sobre o comportamento de cada produto durante a secagem (Silva et al., 2015). A modelagem matemática do sistema de secagem de plantas medicinais e aromáticas possibilita analisar e determinar o comportamento do secador, procurando preservar as características naturais das plantas e buscar uma alta eficiência durante a secagem (Prates et al., 2012). Existem na literatura diversos modelos matemáticos de representação da secagem (Sousa et al., 2011; Mohaprata & Rao, 2005), sendo que estes são frequentemente utilizados em estudos de secagem de produtos

agrícolas e de alimentos (Paula et al., 2006). Visto que, a investigação de moléculas antimicrobianas naturais presentes em plantas tem sido alvo de diversos estudos científicos e os dados obtidos são muito promissores na busca de novas substâncias bioativas (Paula et al., 2006; Duarte et al.; Jirovetz et al., 2007).

Dentre as especiarias produtoras de óleos essenciais, destaca-se o açafrão que é adquirido a partir de *Curcuma longa* L., uma planta herbácea perene tuberosa com flores amarelas e folhas largas, que é membro da família do gengibre e cresce em clima tropical (Akpolat et al., 2010; Prasad et al., 2014). Ao contrário da canela, o açafrão não tem tipos diferentes. Por outro lado, as condições geográficas da região onde cresce e as características de seu solo podem afetar o crescimento, a composição nutricional e a qualidade dessa planta (Hossain et al., 2005; Hayakawa et al., 2011). Desta forma, este estudo teve por objetivo realizar a secagem dos rizomas de *C. longa* L. aplicando modelagem matemática, determinou a atividade antimicrobiana e a toxicidade do óleo essencial obtido após o processo de secagem aplicado.

2. Metodologia

2.1. Coleta, seleção e preparo do material vegetal

Foram coletados rizomas de *C. longa* (açafrão), na cidade de São Luís – MA (Figura 1). Os materiais vegetais foram coletados manualmente pela manhã, apresentando teor de água em 61,77% (base úmida).

Figura 1: Rizomas in natura de *C. longa*.



Fonte: Autores (2020)

O material foi encaminhado ao Laboratório de Pesquisa e Aplicação de Óleos Essenciais da Universidade Federal do Maranhão (UFMA) para triagem, determinação do teor de água e secagem em estufa digital de ar convectivo FANEM 520. No laboratório, o material vegetal foi analisado e foram selecionadas quanto aos aspectos visuais as folhas não danificadas. Os rizomas foram cortados manualmente, havendo cautela na padronização dos cortes. Os cortes foram realizados de maneira radial em partes de no máximo 4 cm de comprimento e 1 cm de largura.

2.2.Secagem

Para realização da secagem utilizou-se uma estufa digital de secagem de ar convectiva FANEM 520, velocidade do ar padrão em 1 m/s. A secagem foi realizada em dias alternados empregando-se a temperatura de 45 °C e a umidade relativa do ar monitorada através de um termo-higrômetro digital (modelo INS-28 Intrusul).

Foi empregada uma massa de 200g para secagem e cerca de 3g das amostras foram colocadas em placas revestidas por alumínio de dimensões 90 x 15 mm, sendo a massa monitorada durante todo o processo por pesagens descontínuas em balança analítica Shimadzu AUY220 e o esquema das pesagens seguindo intervalos de 5, 10, 20, 30 e 60 min, até o final do processo. As pesagens foram realizadas até que as variações de massa fossem insignificantes. A secagem foi concluída quando não havia variação da massa em 0,0100 g entre cinco pesagens sucessivas. Para determinação da razão de umidade (RU) durante a secagem das folhas de jardineira para as diferentes temperaturas de secagem foi utilizada a Equação 1:

$$RU_{(adm)} = \frac{U_{bs} - U_e}{U_{bs_{inicial}} - U_e} \quad (1)$$

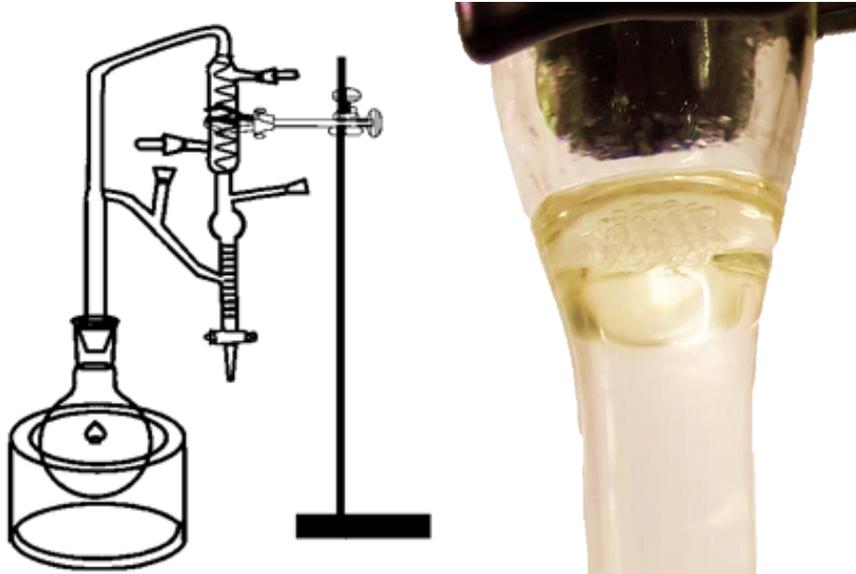
Onde: $RU_{(adm)}$ =razão de umidade, (adimensional); $U_{bs_{inicial}}$ =teor de água inicial (b.s.); U_e =teor de água no equilíbrio (b.s.); U_{bs} =teor de água no tempo t (b.s.).

2.3.Obtenção do óleo essencial (OE)

Para extração do OE, utilizou-se a técnica de hidrodestilação com um extrator de Clevenger de vidro acoplado a um balão de fundo redondo acondicionado em manta elétrica como fonte geradora de calor. Foram utilizadas 100g dos rizomas secos do *C. longa*, adicionando-se água destilada (1:10). A hidrodestilação foi conduzida a 100°C por 3h

recolhendo-se o OE extraído. O OE foi seco com sulfato de sódio (Na_2SO_4). O sistema extrator apresentado pode ser visualizado na Figura 2.

Figura 2: Esquema experimental da extração do OE.



Fonte: Autores (2020)

O rendimento do óleo essencial foi expresso em porcentagem na relação volume/massa pela medida de densidade.

2.4. Modelagem matemática para predição da secagem

Os valores de RU obtidos para cada temperatura do ar de secagem foram analisados por seis diferentes equações empíricas e semiempíricas e regressão não linear, conforme a Tabela 1. Para o ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais, realizou-se análise de regressão não linear, pelo método QuasiNewton, empregando-se o programa computacional Statistica 10.0.

Tabela 1: Modelos matemáticos de regressão não linear para prever a secagem.

Modelo	RU_{pre}	Eq	Referência
Dois termos	$a \cdot \exp(-k \cdot t) + b \cdot \exp(-k \cdot t)$	(2)	(Jittanit, 2011)
Logarítmico	$a \cdot \exp(-k \cdot t) + c$	(3)	(Akpinar, 2006)
Newton	$\exp(-k \cdot t)$	(4)	(Martinazzo et al., 2007)
Henderson and Pabis	$a \cdot \exp(-k \cdot t)$	(5)	(Martinazzo et al., 2007)
Logistic	$a_0 / (1 + \exp(k \cdot t))$	(6)	(Farias et al., 2011)

Fonte: Autores (2020)

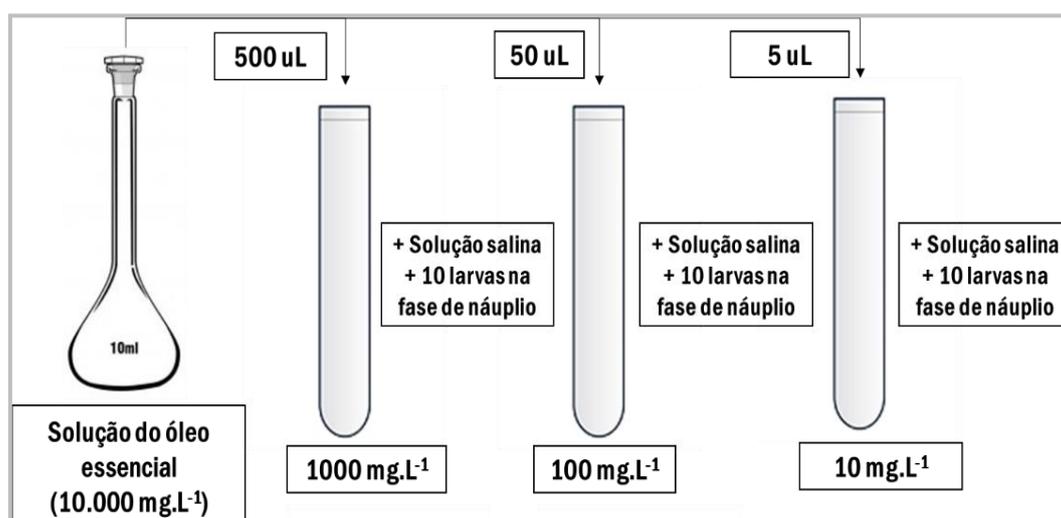
Os critérios usados para determinação do melhor ajuste dos modelos aos dados experimentais foi o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio quadrático médio (DQM) pela Equação 7.

$$DQM = \sqrt{\frac{\sum (RU_{exp} - RU_{pre})^2}{N}} \quad (7)$$

2.5. Ensaio de toxicidade

Para o ensaio de toxicidade utilizou-se a metodologia adaptada de Meyer et al. (1982). Para a avaliação da letalidade de *Artemia salina* Leach, foi preparada uma solução salina estoque do OE na concentração de 10.000 mg/L e 0,02 mg de Tween 80 (tenso ativo). Alíquotas de 5, 50 e 500 μ L desta foram transferidas para tubos de ensaio e completados com solução salina já preparadas anteriormente até 5 mL, obtendo-se no final concentrações de 10, 100 e 1000 mg/L, respectivamente. Todos os ensaios foram realizados em triplicatas, onde dez larvas na fase náuplio foram transferidas para cada um dos tubos de ensaio, assim como demonstrado na Figura 3.

Figura 3: Esquema experimental do ensaio de toxicidade.



Fonte: Autores (2020)

Para o controle do branco utilizou-se 5 mL da solução salina, para o controle positivo $K_2Cr_2O_7$ e para o controle negativo 5 mL de uma solução 4 mg/L de Tween 80. Após 24 horas de exposição, realizou-se a contagem das larvas vivas, considerando-se mortas aquelas que não se movimentaram durante a observação e nem com a leve agitação do frasco. Adotou-se o critério estabelecido por Dolabela (1997) para classificação da toxicidade dos óleos essenciais, sendo considerado produto altamente tóxico quando $CL_{50} \leq 80$ mg/L, moderadamente tóxico para $80 \text{ mg/L} \leq CL_{50} \leq 250$ mg/L e levemente tóxico ou atóxico quando $CL_{50} \geq 250$ mg/L.

A análise estatística dos dados é realizada de acordo com o método de Reed&Muench (1938), o qual parte do princípio de que um animal que sobreviva a certa dose, também irá sobreviver em qualquer outra dose menor que aquela, conseqüentemente o animal que morrer com certa dose, também irá morrer em doses maiores que aquela. A partir da tabela contendo os dados de mortalidade para cada concentração testada, é construído um gráfico onde se observa uma curva para o acúmulo de animais mortos em cada log da concentração e outra curva para o acúmulo de sobreviventes. O ponto de intercessão entre as curvas é a Concentração Letal 50% (CL_{50}), pois nesse ponto o número de animais sobreviventes é igual ao número de animais mortos (Colegate&Molyneux, 2007).

2.6. Padronização do inóculo microbiano para ensaios de sensibilidade

Foram utilizadas duas cepas de bactérias: *Escherichia coli* (ATCC®259223™), *Staphylococcus aureus* (ATCC® 259233™), *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC® 27853™) e

Salmonella sp. (ATCC® 35664™). Estas foram previamente identificadas e confirmadas pelas provas bioquímicas.

Culturas microbianas puras mantidas em ágar TSA foram repicadas para caldo de infusão de cérebro e coração (BHI) e incubadas a 35 °C até atingirem fase exponencial de crescimento (4-6 h). Após esse período, as culturas tiveram sua densidade celular ajustada em solução salina 0,85% estéril, de modo a se obter uma turbidez comparável à da solução padrão de McFarland 0,5, o que resulta em uma suspensão microbiana contendo aproximadamente $1,5 \times 10^8$ UFC mL⁻¹ de acordo com as normas do Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI, 2020).

2.7. Atividade antimicrobiana

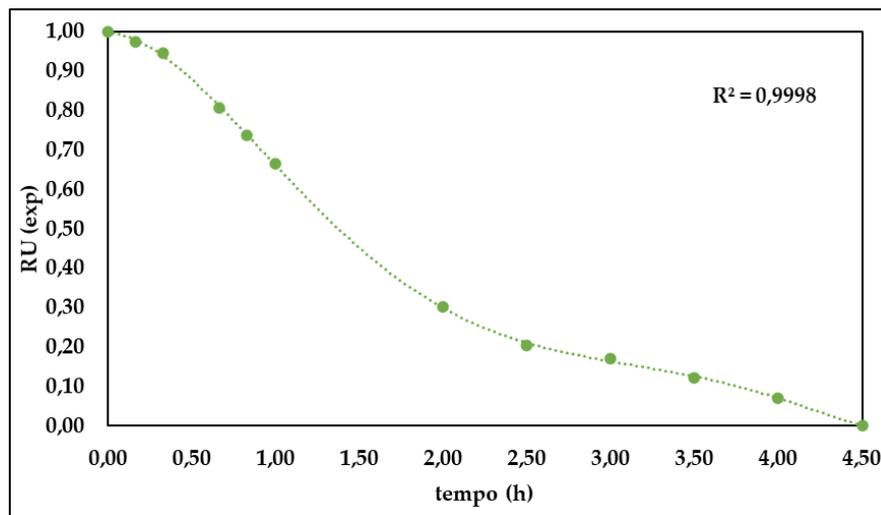
A atividade antimicrobiana foi realizada segundo a técnica de difusão de disco do Clinical and Laboratory Standards Institute (2020) que padroniza os testes de sensibilidade de antimicrobianos por disco-difusão, utilizando-se suspensões padronizadas das cepas de bactérias distribuídas em placas contendo meio de cultura Ágar Mueller Hinton (AMH) acrescidas de discos contendo 20 µL do OE. Como controle positivo utilizou-se Gentamicina (30 µg). As placas foram incubadas em estufa bacteriológica a 35 °C/24 h. Os diâmetros dos halos de inibição foram mensurados, incluindo o diâmetro do disco. Esses ensaios foram feitos em triplicata.

Para determinação da Concentração Inibitória Mínima (CIM), utilizou-se a técnica de diluição em caldo. Com diluições seriadas do OE em Caldo Mueller Hinton (MH), resultando nas concentrações de 1000, 500, 250, 100, 50, 25, 10 e 5 µg/mL, realizando-se os controles de esterilidade e com incubação a 35°C por 24 horas. Após o período de incubação, foi verificada a concentração inibitória mínima do óleo e extrato, sendo definida como a menor concentração que visivelmente inibiu o crescimento bacteriano (ausência de turvação visível). Ensaios realizados em triplicata. A Concentração Bactericida Mínima (CBM) foi mensurada a partir da inoculação de 10 µL dos tubos resultantes da diluição em Caldo Mueller Hinton, realizou uma contagem das placas após 24h, onde as placas que não cresceram colônias foram classificadas como concentrações bactericidas para a ação do OE.

3. Resultados e Discussão

A Figura 4 apresenta a cinética de secagem com o tempo (h) e razão de umidade (RU) para a secagem dos rizomas de *C. longa*. O tempo máximo de secagem foi obtido em 16h à temperatura de 45° C e a equação obtida foi $RU = 0,0002t^6 + 0,002t^5 - 0,0504t^4 + 0,2787t^3 - 0,5317t^2 - 0,0353t + 0,9991$.

Figura 4: Curva de secagem tempo(h) versus RU (exp) para a secagem de *C. longa*.



Fonte: Autores

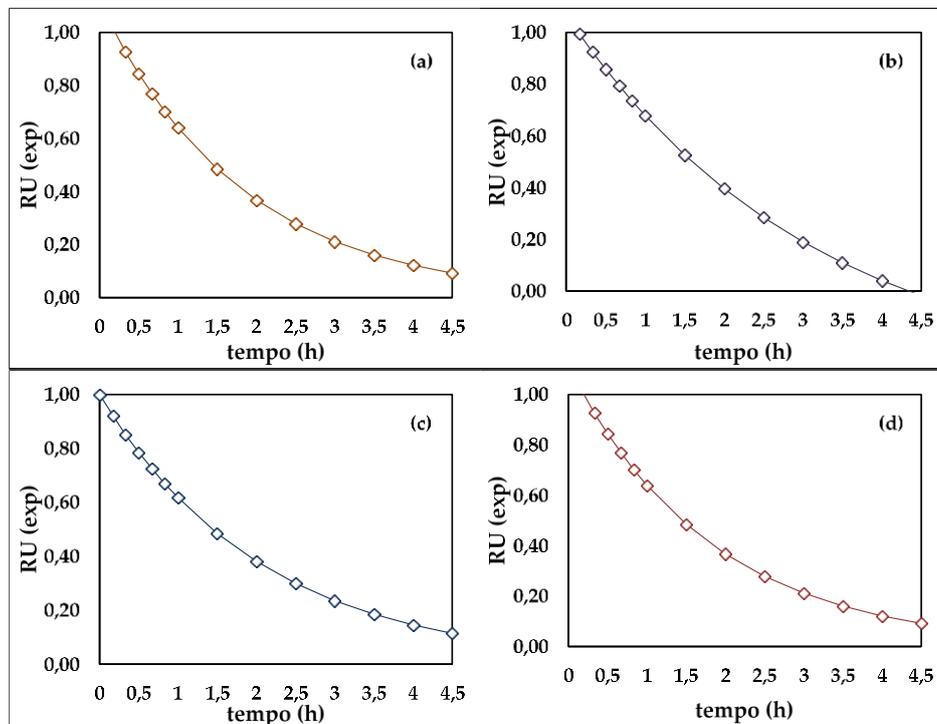
Observou-se na Figura 4, que no início da secagem a taxa de secagem é constante e que a partir de aproximadamente 2 horas esta taxa começa a entrar em curva descendente. Isso se deve ao fato de a superfície do material não estar mais saturada com água e a taxa de secagem ser controlada pela difusão da umidade do interior do sólido para a superfície. Este é o comportamento típico de secagem de materiais agrícolas relatado por muitos pesquisadores. Resultados semelhantes também foram observados para a secagem das folhas de *Ziziphus joazeiro* Mart (Sousa et al., 2015) e das folhas da erva baleeira (Goneli et al., 2014).

São vários os fatores que influenciam a secagem, como o método de secagem empregado, temperatura e umidade relativa do ar de secagem e velocidade do ar e tempo de secagem. A falta do controle destes fatores pode comprometer a qualidade do produto final (Goneli, 2008). Segundo (Braga, 2016), a velocidade de transferência de água dentro da folha de cúrcuma é dependente de vários fatores, sendo os principais a temperatura e a pressão.

Na Figura 5, temos a representação gráfica dos ajustes da secagem aos modelos estudados na temperatura de 45°C. Com os resultados obtidos na modelagem computacional,

obteve-se as curvas de cinéticas de secagem para cada modelo e conforme a Figura 5, as curvas do modelo acompanham os pontos experimentais com pequenos desvios.

Figura 5: Representação gráfica dos ajustes da secagem aos modelos matemáticos designados (a) Two Terms (b) Logarithm (c) Newton (d) Logistic.



Fonte: Autores

Braga (2016) pesquisando diferentes métodos de secagem para as folhas de *C. longa* também constatou uma região de aceleração, onde a velocidade de transferência de massa aumenta até a velocidade máxima, uma região de velocidade constante, que se dá por quase metade do período de secagem, e uma região de desaceleração, onde a velocidade de secagem diminui em decorrência do período decrescente de taxa de secagem.

Os parâmetros dos modelos com os correspondentes coeficientes de determinação e desvio quadrático médio (DQM) obtidos estão apresentados na Tabela 2.

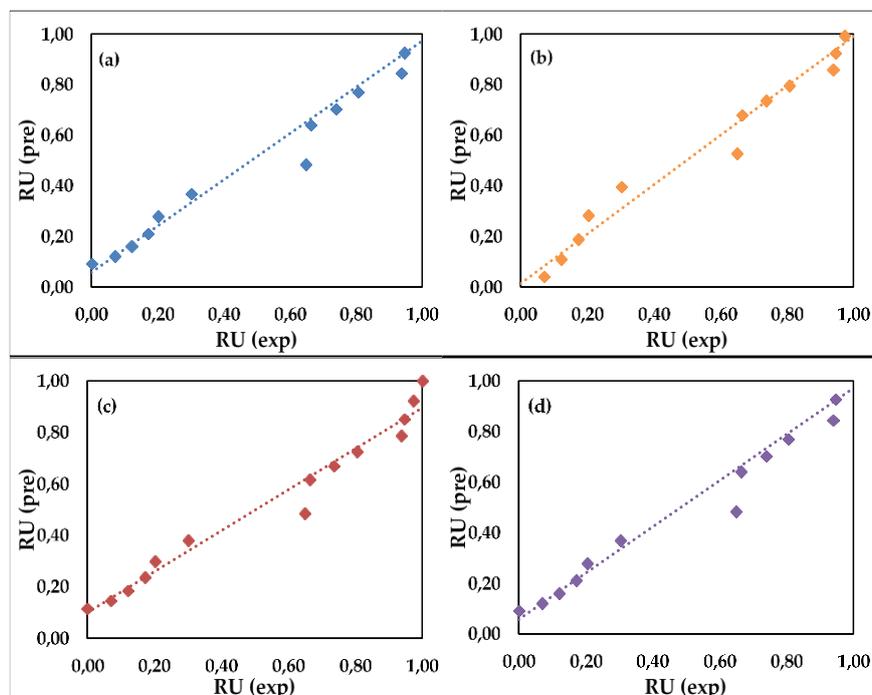
Tabela 2: Parâmetros dos modelos identificados, coeficiente de determinação e desvio quadrático médio relativo (DQM) para secagem convectiva de folhas de *C. longa*.

Modelo	R ²	DQM	a	a ₀	k	b	c
Two Terms	0,9787	0,0747	9,44929	-	0,00923	-8,33498	-
Logarithm	0,9879	0,0564	1,428722	-	0,005286	-	-0,361094
Newton	0,9677	0,0917	-	-	0,008036	-	-
Logistic	0,9786	0,0610	1,232972	0,903723	-0,009226	-	-

Fonte: Autores (2020)

Todos os modelos ofereceram ajuste razoável aos dados de cinética de secagem ($R^2 > 0,90$). Para o processo de secagem o modelo de Logarithm foi o que melhor ajustou os dados de cinética de secagem, pois apresentou o maior coeficiente de determinação ($R^2 \geq 0,98$) e o menor valor do desvio quadrático médio ($< 10\%$), indicando que este modelo pode ser usado com sucesso para prever o comportamento da cinética de secagem dos rizomas de *C. longa* por secagem convectiva nas condições estudadas. A Figura 6, apresenta a representação gráfica das tendências dos modelos ao ajuste dos dados na temperatura de 45°C.

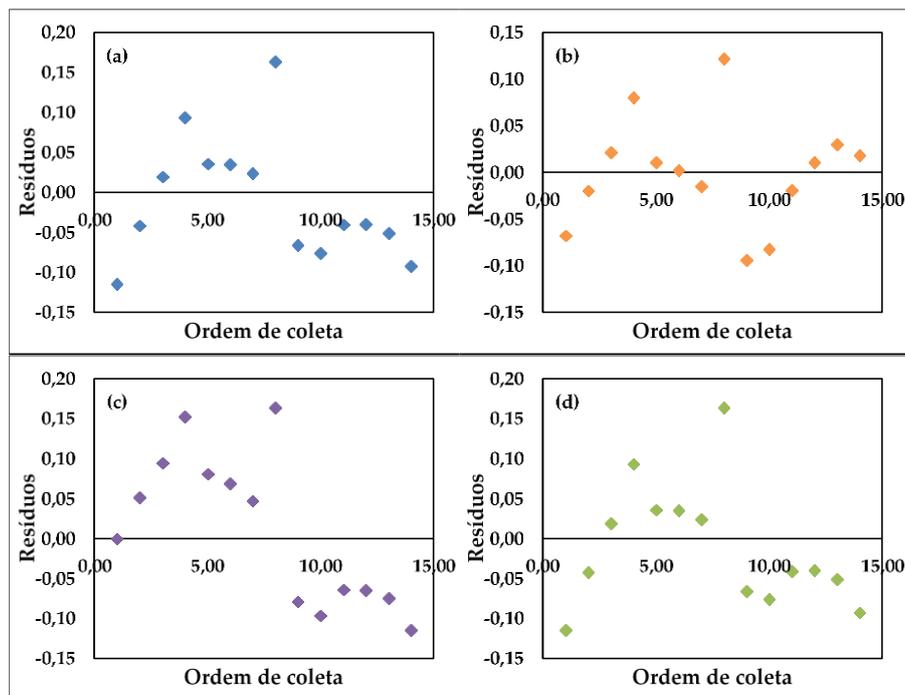
Figura 6: Representação gráfica das tendências dos modelos ao ajuste dos dados (a) Two Terms (b) Logarithm (c) Newton (d) Logistic.



Fonte: Autores

A Figura 6 é utilizada como comparativo com a Figura 7 que apresenta a representação gráfica dos resíduos para a razão de umidade ajustada aos modelos matemáticos na temperatura de 45°C.

Figura 7: Representação gráfica dos resíduos para a razão de umidade ajustada aos modelos matemáticos (a) Two Terms (b) Logarithm (c) Newton (d) Logistic.



Fonte: Autores (2020)

Nas Figuras 6 e 7, são descritos os comportamentos (ou tendências) da distribuição de resíduos para os modelos estudados. Verifica-se que os modelos de Newton e Logistic apresentaram uma distribuição aleatória dos resíduos para a temperatura de secagem, na qual as distribuições dos resíduos se apresentaram de forma tendenciosa para todos os modelos. Um modelo é considerado aleatório se os valores residuais se encontrarem próximos à faixa horizontal em torno de zero e também não formarem figuras definidas, não indicando tendenciosidade dos resultados. Se apresentar distribuição tendenciosa, o modelo é considerado inadequado para representar o fenômeno em questão (Goneli, 2011).

A Tabela 3 apresenta a ação antimicrobiana do OE de *C. longa* frente as bactérias testadas. Observou-se a ação do OE frente a todas as espécies testadas.

Tabela 3: Ação antimicrobiana do EO frente as bactérias testadas.

Estirpe	*GEN (30 µg)	DHI (mm)	CIM (µg/mL)	CBM (µg/mL)
<i>E. coli</i>	20	19	300	500
<i>S. aureus</i>	25	23	250	400
<i>P. aeruginosa</i>	15	14	180	400
<i>Salmonella sp.</i>	18	16	220	550

Fonte: Autores (2020)

Observou-se que o OE teve o melhor halo de inibição para ação frente a *S. aureus* pelo método de difusão de disco. Pelo ensaio de difusão em meio líquido o OE teve melhor ação inibitória para *P. aeruginosa* e melhor ação bactericida frente a *S. aureus* e *P. aeruginosa*.

A ação observada é confirmada pela literatura como no estudo realizado por Gonçalves et al. (2019) o OE de *C. longa* inibiu o crescimento de *S. aureus*, *E. coli* e *P. aeruginosa*. O estudo realizado por Camilo et al. (2020) também comprova a atividade antimicrobiana observada para *S. aureus* e *E. coli* frente a ação do OE de *C. longa*. Resultados similares também foram encontrados por (Silva et al., 2018), em que observaram ação do OE frente a *S. aureus* e *E. coli*.

Estudos sugerem que as bactérias Gram-positivas são mais susceptíveis aos óleos essenciais, do que as Gram-negativas (Sivasothy et al., 2011; Barbosa et al.; Araújo et al., 2015). Isto ocorre provavelmente devido à complexidade estrutural da parede celular das Gram-negativas que apresentam uma membrana externa composta por lipopolissacarídeos, responsável por envolver a parede celular e proporcionar uma maior resistência, a qual restringe a difusão e dificulta a disseminação e acúmulo do óleo essencial na célula bacteriana (Barbosa et al., 2015; Carvalho et al., 2016; Santos et al., 2011; Santos et al., 2017).

Acredita-se que os OE's exercem efeitos como: a perturbação da membrana citoplasmática pela interferência na bicamada fosfolipídica da parede celular; aumento da permeabilidade e perda dos constituintes celulares; e alteração de uma variedade de sistemas enzimáticos, incluindo aqueles envolvidos na produção de energia celular e síntese de componentes estruturais ou por inativação e destruição do material genético, resultando em perda do controle quimiosmótico da célula afetada, levando a morte bacteriana (Carvalho et al., 2016; Veloso et al., 2012).

A Tabela 4 apresenta CL₅₀ do OE frente ao microrganismo não-alvo *Artemia salina*, sendo classificado pelo critério utilizado como atóxico, incentivando o potencial de aplicação do OE.

Tabela 4: Avaliação da toxicidade do EO frente ao organismo não-alvo *Artemia salina* Leach.

<i>Artemia salina</i> Leach	
CL ₅₀	295,39 mg L ⁻¹ (atóxico)
Controle positivo (K ₂ Cr ₂ O ₇)	Todas as larvas inativas
Branco (Solução salina)	Todas as larvas ativas
Controle negativo (Solução salina+Tween80)	Todas as larvas ativas

Fonte: Autores.

Outro estudo realizado por Silva Filho et al. (2009) mostrou que os resultados obtidos nos ensaios de toxicidade para o OE de *C. longa* tiveram CL₅₀ de 319,82 mg/L, sendo classificado também como atóxico. Os ensaios com o gênero *Artemia* sp. são usados como um organismo modelo de teste marinho para estudos de ecotoxicidade devido à sua facilidade de cultura, disponibilidade imediata, baixo custo, adaptabilidade a condições adversas Soltanian (2007) e tem uma vida útil curta de cerca de 3 a 6 meses, dependendo da vulnerabilidade dos predadores. Durante condições adversas, *Artemia* produz cistos dormentes que podem ser chocados pela reidratação em água salgada, mesmo após vários anos (Lavens&Sorgeloos, 2000).

Considerações finais

Através dos resultados, pode-se concluir que o OE teve ação frente a todos os microrganismos testados e apresentando um CL₅₀ que o classifica como atóxico frente a microrganismos não-alvos. Assim, incentiva-se o potencial de aplicação do OE de *C. longa*.

Referências

Akpınar, E. K. (2006). Determination of suitable thin layer drying curve model for some vegetables and fruits. *Journal of food engineering*, 73(1), 75-84.

Akpolat, M., Uz, Y., & Kizilay, G. (2010). Kanser tedavisinde curcuminin yeri. *Yeni Tip Dergisi; Cilt: 27 Sayı: 3; 142.*

Araújo, L. S., Araújo, R. S., Serra, J. L., & Nascimento, A. R. (2015). Composição química e susceptibilidade do óleo essencial de orégano (*Origanum vulgare* L., família Lamiaceae) frente à cepas de *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* e *Salmonella choleraesuis*. *Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*, 33(1).

Barbosa, L. N., da Silva Probst, I., Andrade, B. F. M. T., Alves, F. C. B., Albano, M., de Souza, M. d. L. R., Júnior, A. F. (2015). In vitro antibacterial and chemical properties of essential oils including native plants from Brazil against pathogenic and resistant bacteria. *Journal of oleo science*, 64(3), 289-298.

Braga, M. C. (2016). Qualidade de folha de *Curcuma Longa* L. desidratada obtida com diferentes métodos de secagem.

Camilo, C. J., de Carvalho, N. K. G., Nonato, C. d. F. A., Leite, D. O. D., Dantas, A. R., Pereira, R. C., & Costa, J. G. M. (2020). Chemical composition and in vitro biological activities of the essential oils of the rhizomes of *Zingiber officinale* Roscoe and *Curcuma longa* L.(Zingiberaceae)/Composição química e atividades biológicas in vitro dos óleos essenciais dos rizomas de *Zingiber officinale* Roscoe e *Curcuma longa* L.(Zingiberaceae). *Brazilian Journal of Development*, 6(4), 17766-17772.

Carvalho, N. P. B., Santos, A. N. d. S., Pinheiro, E. O., & Leal, L. R. A. (2016). Potencial antioxidante e antimicrobiano de óleos essenciais de especiarias: uma revisão. *Hig. alim.*, 12-21.

Colegate, S. M., & Molyneux, R. J. (2007). *Bioactive natural products: detection, isolation, and structural determination*: CRC press.

Dolabela, M. (1997). *Triagem in vitro para atividade antitumoral e anti Trypanossoma cruzi de extratos vegetais, produtos naturais e substâncias sintéticas*. 1997. 130 p. Dissertação (Mestrado em Farmacologia), Departamento de Fisiologia e

Duarte, M. C. T., Leme, E. E., Delarmelina, C., Soares, A. A., Figueira, G. M., & Sartoratto, A. (2007). Activity of essential oils from Brazilian medicinal plants on *Escherichia coli*. *Journal of ethnopharmacology*, 111(2), 197-201.

Farias, L., Vasconcelos, V., Carvalho, F., & Sarmiento, J. (2011). Avaliação dos modelos logístico bicompartimental e de Gompertz na estimativa da dinâmica de fermentação ruminal in vitro do farelo e da torta de babaçu (*Orbignya martiana*). *Arq. bras. med. vet. zootec*, 136-142.

Gonçalves, G. M. S., Barros, P. P., da Silva, G. H., & Fedes, G. R. (2019). The essential oil of *Curcuma longa* rhizomes as an antimicrobial and its composition by Gas Chromatography/Mass Spectrometry. *Revista de Ciências Médicas*, 28(1), 1-10.

Goneli, A. (2008). *Variação das propriedades físico-mecânicas e da qualidade de mamona (Ricinus communis L.) durante a secagem e o armazenamento*. 2008. 186 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

Goneli, A., Nasu, A., Gancedo, R., Araújo, W., & Sarath, K. (2014). Cinética de secagem de folhas de erva baleeira (*Cordia verbenacea* DC.). *Revista brasileira de plantas medicinais*, 16(2), 434-443.

Goneli, A. L. D., Corrêa, P. C., Magalhães, F. E. d. A., & Baptestini, F. M. (2011). Contração volumétrica e forma dos frutos de mamona durante a secagem. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 33(1), 01-08.

Hayakawa, H., Kobayashi, T., Minaniya, Y., Ito, K., Miyazaki, A., Fukuda, T., & Yamamoto, Y. (2011). Development of a molecular marker to identify a candidate line of turmeric (*Curcuma longa* L.) with a high curcumin content. *American Journal of Plant Sciences*, 2(01), 15.

Hossain, M. A., & Ishimine, Y. (2005). Growth, yield and quality of turmeric (*Curcuma longa* L.) cultivated on dark-red soil, gray soil and red soil in Okinawa, Japan. *Plant Production Science*, 8(4), 482-486.

Institute, CLSI. (2020). Clinical and Laboratory Standards Institute: performance standards for antimicrobial disk diffusion susceptibility tests 30th. *CLSI document M100, 30 th.*

Jirovetz, L., Buchbauer, G., Schmidt, E., Stoyanova, A. S., Denkova, Z., Nikolova, R., & Geissler, M. (2007). Purity, antimicrobial activities and olfactic evaluations of geraniol/nerol and various of their derivatives. *Journal of Essential Oil Research, 19*(3), 288-291.

Jittanit, W. (2011). Kinetics and temperature dependent moisture diffusivities of pumpkin seeds during drying. *Kasetsart journal: natural science, 45*(1), 147-158.

Lavens, P., & Sorgeloos, P. (2000). The history, present status and prospects of the availability of Artemia cysts for aquaculture. *Aquaculture, 181*(3-4), 397-403.

Lj, R. (1938). A simple method of estimating fifty percent end points. *Am. J. Hyg., 27*, 493-497.

Martinazzo, A. P., Corrêa, P. C., Resende, O., & Melo, E. d. C. (2007). Análise e descrição matemática da cinética de secagem de folhas de capim-limão. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 11*(3), 301-306.

Martins, E. A., Lage, E. Z., Goneli, A. L., Hartmann Filho, C. P., & Lopes, J. G. (2015). Drying kinetics of *Serjania marginata* Casar leaves/Cinetica de secagem de folhas de timbo (*Serjania marginata* Casar). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 19*(3), 238-245.

McLaughlin, J. (1982). Brine shrimp: a convenient general bioassay for active constituents. *Planta Med, 45*, 31-32.

Mohapatra, D., & Rao, P. S. (2005). A thin layer drying model of parboiled wheat. *Journal of food engineering, 66*(4), 513-518.

Paula, J. A. M. (2006). Estudo Farmacognóstico da Casca de Pimenta pseudocaryophyllus (GOMES) LR Landrum–Myrtaceae. *Revista Eletrônica de Farmácia.*

Prasad, S., Gupta, S. C., Tyagi, A. K., & Aggarwal, B. B. (2014). Curcumin, a component of golden spice: from bedside to bench and back. *Biotechnology advances, 32*(6), 1053-1064.

Prates, M., Reis, R. d., Devilla, I., Faria, R., & Lima Junior, A. (2012). Cinética de secagem de folhas de *Solanum lycocarpum* A. St.-Hil.(fruta-de-lobo). *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 14(3), 514-521.

Santos, J. C., Carvalho Filho, C. D., Barros, T. F., & Guimarães, A. G. (2011). Atividade antimicrobiana in vitro dos óleos essenciais de orégano, alho, cravo e limão sobre bactérias patogênicas isoladas de vôngole. *Semina: Ciências Agrárias*, 32(4), 1557-1564.

Silva, L., Resende, O., Virgolino, Z., Bessa, J., Morais, W., & Vidal, V. (2015). Drying kinetics and effective diffusivity in jenipapo sheets (*Genipa americana* L.). *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 17(4), 953-963.

Silva, F. T., da Cunha, K. F., Fonseca, L. M., Antunes, M. D., El Halal, S. L. M., Fiorentini, Â. M., Dias, A. R. G. (2018). Action of ginger essential oil (*Zingiber officinale*) encapsulated in proteins ultrafine fibers on the antimicrobial control in situ. *International journal of biological macromolecules*, 118, 107-115.

Silva, S., Demuner, A., Barbosa, L., Andrade, N., Nascimento, E., & Pinheiro, A. (2003). Análise dos constituintes químicos e da atividade antimicrobiana do óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* Cheel. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 6(1), 63-70.

Silva Filho, C. R., Souza, A. G. d., Conceição, M. M. d., Silva, T. G. d., Silva, T., & Ribeiro, A. P. (2009). Avaliação da bioatividade dos extratos de cúrcuma (*Curcuma longa* L., Zingiberaceae) em *Artemia salina* e *Biomphalaria glabrata*. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 19(4), 919-923.

Silva Santos, C. H., Piccoli, R. H., & Tebaldi, V. M. R. (2017). Atividade antimicrobiana de óleos essenciais e compostos isolados frente aos agentes patogênicos de origem clínica e alimentar. *Rev Inst Adolfo Lutz*, 76, e1719.

Sivasothy, Y., Chong, W. K., Hamid, A., Eldeen, I. M., Sulaiman, S. F., & Awang, K. (2011). Essential oils of *Zingiber officinale* var. *rubrum* Theilade and their antibacterial activities. *Food chemistry*, 124(2), 514-517.

Soltanian, S. (2007). *Protection of gnotobiotic Artemia against Vibrio campbellii using baker's yeast strains and extracts*. Ghent University.

Sousa, F., Martins, J., Rocha, A., Gomes, J., Pessoa, T., & Martins, J. (2015). Predição de modelos sobre a cinética de secagem de folhas de *Ziziphus joazeiro* Mart. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 17(2), 195-200.

Sousa, K. A., Resende, O., Chaves, T. H., & Costa, L. M. (2011). Cinética de secagem do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.). *Revista Ciência Agronômica*, 42(4), 883-892.

Tabaldi, L. A., Vieira, M. d. C., Zárate, N. A. H., Silva, L. R. d., Gonçalves, W. L. F., Pilecco, M., Padovan, M. P. (2012). Cover crops and their effects on the biomass yield of *Serjania marginata* plants. *Ciência Rural*, 42(4), 614-620.

Tavares, L. B., Souza, M. M. C. D., Silva, J. P., Matos, J. M. D. M., & Junqueira, A. M. R. (2018). Avaliação de Métodos Alternativos de Secagem para Transformação de Plantas Condimentares. *Cadernos de Agroecologia*, 13(1).

Veloso, R. A., Castro, H. G. d., Cardoso, D. P., Santos, G. R. d., Barbosa, L. C. d. A., & Silva, K. P. d. (2012). Composição e fungitoxicidade do óleo essencial de capim citronela em função da adubação orgânica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47(12), 1707-1713.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Everton Holanda Sales – 10%
Gustavo Oliveira Everton - 10%
Paulo Victor Serra Rosa - 10%
Carlos Eduardo Pereira Conceição – 8,57%
Feliciano Santos Pinheiro -8,57%
Simone Nunes Leal Chagas -8,57%
Christyann Lima Campos Batista -8,57%
Liane Batista da Cruz Soares -8,57%
Ana Maria Almeida Silva Carvalho -8,57%
Igor Santos da Silva -8,57%
Ari Pereira de Araújo Neto - 8,57%
Victor Elias Mouchrek Filho -10%