

APLICAÇÃO DO BIOENSAIO TOXICOLÓGICO IN VITRO EM RESÍDUOS DO MARACUJÁ AMARELO

APPLICATION OF *IN VITRO* TOXICOLOGICAL BIOASSAY ON YELLOW PASSION FRUIT RESIDUES

DOI: 10.65747/conali2025v1c07

Yago Kenedy Martins Claudino¹; Jordan Dias Sousa da Silva²; Yasmin Diniz de Moraes³; Aline Diniz Barbosa Arriel⁴; Aluska da Silva⁵; Deyzi dos Santos Gouveia⁶

¹Estudante do Curso de Engenharia de Alimentos- CTRN– UFCG; ²Mestrando em Engenharia de Alimentos- CTRN– UFCG; ³Estudante do Curso de Engenharia de Alimentos- CTRN– UFCG; ⁴Estudante do Curso de Engenharia de Alimentos- CTRN– UFCG; ⁵Estudante do Curso de Engenharia de Alimentos- CTRN– UFCG; ⁶Dorcente do Depto. de Engenharia de Alimentos– CTRN – UFCG.

Contato: yago.kenedy@estudante.ufcg.edu.br

Resumo: Os alimentos de matriz vegetal em sua composição podem conter compostos tóxicos advindos de sua própria matriz, de resíduos agrotóxicos ou de processamentos tecnológicos. Deste modo, a presente pesquisa realizou a avaliação toxicológica em resíduos de maracujá amarelo após processamento térmico, visando a obtenção de um resíduo mais palatável que possa ser utilizado como ingrediente em diversos produtos. Para isso utilizou-se o bioensaio toxicológico em *Artêmia salina* onde foram estudados resíduos do maracujá amarelo (RMA) cozidos por 12 minutos denominados em RM1 (Casca), RMA2 (albedo) e RMA3 (casca + albedo). Foram consideradas tóxicos os resíduos que apresentavam DL_{50} inferior a 1000 ppm. Com isto, foi avaliado que nenhum dos resíduos estudados se apresentavam tóxicos, evidenciando o potencial uso destes resíduos de maracujá amarelo para a produção de produtos alimentícios.

Palavras-chave: Albedo; Casca; Compostos tóxicos; Resíduos agroindustriais;

Abstract: Plant-based foods may contain toxic compounds originating from their intrinsic matrix, pesticide residues, or technological processing. In this context, the present study carried out a toxicological assessment of yellow passion fruit residues after thermal processing, aiming to obtain a more palatable ingredient with potential applications in various food products. Toxicological bioassays were performed using *Artemia salina* sp., in which yellow passion fruit residues (YPR) cooked for 12 minutes were evaluated and classified as YPR1 (peel), YPR2 (albedo), and YPR3 (peel + albedo). Residues with an LD_{50} below 1000 ppm were considered toxic. The results demonstrated that none of the tested residues exhibited toxicity, underscoring the potential of thermally processed yellow passion fruit residues for use in the development of food products.

Keywords: Albedo; Peel; Toxic compounds; Agro-industrial waste;

INTRODUÇÃO

A toxicologia é a ciência que estuda os efeitos das interações de substâncias químicas, físicas ou biológicas com o organismo sob determinadas condições. Entende-se como agente tóxico determinada substância que é capaz de gerar injúrias a um sistema biológico comprometendo suas funções ou até mesmo levando à morte do organismo (1).

A dose letal (DL_{50}) é um parâmetro importante da toxicologia. Ela é definida como a quantidade de um agente tóxico, ingerido por via oral, capaz de produzir a morte de 50% da população de um organismo alvo em um curto intervalo de tempo. Para o ensaio quantitativo da DL_{50} , comumente são utilizados organismos como camundongos, ratos, peixes, coelhos e diversas espécies de macacos (2,3).

A *Artemia salina* sp. é um microcrustáceo de água salgada, altamente comercializada como cisto para alimentação de peixes. Devido a sua alta sensibilidade à compostos bioativos, este microcrustáceo pode ser utilizado para o estudo da letalidade de substâncias (4).

Meyer e colaboradores desenvolveram uma metodologia utilizando a *Artemia salina* sp. para classificação da toxicidade de substâncias. Os autores estabeleceram uma relação entre o grau de toxicidade e a DL_{50} , apresentada por extratos de plantas sobre as larvas destes microcrustáceos. A partir da pesquisa efetuada pelos autores, considera-se uma substância tóxica aquela que obtiver DL_{50} inferior a 1000 ppm, e atóxica a substância que obtiver DL_{50} superior a 1000 ppm, para o ensaio toxicológico (5).

Os alimentos têm uma grande variedade de substâncias em sua composição que podem ou não apresentar potencial tóxico. Essas substâncias podem estar presentes originalmente na matriz dos alimentos ou podem ser formadas durante o processamento, sendo os que envolvem adição de calor os principais responsáveis por gerar substâncias tóxicas (6, 7). Alguns compostos agrotóxicos, que utilizados em diferentes etapas do cultivo de alimentos, incluindo a pós-colheita, podem ser considerados de classe tóxica. Os resíduos agrotóxicos tendem a se bioconcentrar ou acumular nos tecidos dos organismos vivos, trazendo malefícios ao sistema fisiológico. A maioria desses resíduos é ingerida por via oral, por meio do consumo de alimentos (8).

O maracujá (*Passiflora edulis*) é uma fruta tropical nativa do Brasil produzida em todas as regiões do país, durante todo o ano, sendo o estado do Nordeste a região com maior número de produtores. As indústrias extratoras de suco são responsáveis, mundialmente, por gerarem o maior índice de resíduos agroindustriais. As extratoras de suco de maracujá geram resíduos compostos por cascas, sementes e albedos, que correspondem de 65% a 70% do peso do fruto (9).

O resíduo do maracujá, especialmente o albedo, é rico em fibras alimentares, vitamina B3 e minerais como ferro, cálcio e fósforo, além de apresentar compostos antioxidantes em sua composição. Devido ao seu alto teor nutricional, nos últimos anos vem sendo notada uma crescente demanda por estudos que utilizam ou evidenciam o uso desse resíduo na elaboração de diversos produtos, visando ao seu enriquecimento e contribuindo para a saúde fisiológica dos consumidores. A presença de fibras e compostos antioxidantes em alimentos ajuda a prevenir doenças gastrointestinais e gera uma ação anti-hiperglicêmica, respectivamente (10).

Porém, em sua composição, o fruto do maracujá apresenta naturalmente compostos cianogênicos, exceto na semente, os quais fazem parte do sistema de defesa vegetal contra

predadores. Ao serem ingeridas, essas substâncias aderem à circulação sanguínea e liberam cianeto, que compromete o processo de respiração celular, podendo levar o organismo à morte, dependendo da concentração de compostos cianogênicos consumidos (11). Portanto embora os produtos à base de plantas sejam geralmente considerados seguros, sua toxicidade não deve ser descartada devido aos constituintes cianogênicos de diversas espécies.

Diante deste contexto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a toxicidade do resíduo do maracujá amarelo submetido ao processamento tecnológico envolvendo a adição de calor, visando a obtenção de um resíduo íntegro e mais palatável, que possa ser utilizado para a elaboração de diversos produtos.

METODOLOGIA

Os experimentos foram realizados na Unidade de Engenharia de Alimentos, nos laboratórios de Análise Sensorial e de Análises Microbiológicas da Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, campus Campina Grande.

O fruto do maracujá amarelo foi obtido no Empasa de Campina Grande- PB, o qual foi selecionado pelo estado de maturação maduro. Após a obtenção, o fruto do maracujá amarelo foi higienizado por meio de lavagem com água e sanitizado a 150 ppm de água sanitária durante 12 minutos. O despulpamento do fruto foi realizado de forma manual onde foram utilizados faca e colher de aço inox. O resíduo de maracujá amarelo (RMA) foi separado, acondicionado em sacos plásticos identificados e armazenado sob refrigeração a 4 °C. Para o ensaio da toxicidade, foram estudados três RMA que foram agrupados de acordo com os seus constituintes como pode ser verificado na Tabela 1. Para a elaboração do RMA3 utilizou-se as mesmas proporções de albedo e casca encontrada no fruto do maracujá amarelo.

Os resíduos foram submetidos ao processo de cozimento por 20 minutos em água mineral, utilizando panela de aço inoxidável. Após o cozimento, estes foram imersos em água quente por um período suficiente para remover o amargor (13).

Tabela 1- Resíduos do maracujá amarelo

Resíduos	Constituintes
RMA1	Casca
RMA2	Albedo
RMA3	Casca+Albedo

Fonte: Autores, 2025

Para o estudo de toxicidade foi utilizada a metodologia adaptada descrita por Ngute, *et al.* (12). Para a eclosão dos cistos de *Artemia Salina* sp. foi utilizada uma solução salina artificial

(Solução mãe). Quando necessário o seu pH foi ajustado entre 8-9, adicionando gotas de NaOH 0,1 mol*L⁻¹.

Os ovos de *A. salina* (0,1 g de cistos por litro) foram incubados na solução mãe sob condições de aeração contínua, iluminação artificial constante e temperatura ambiente, durante 48 horas.

Para o preparo das soluções das amostras, foi pesada e triturada 0,1 g de cada amostras (RMA1, RMA2 e RMA3), sendo posteriormente suspensas em uma mistura de 5 mL de água destilada e 5 mL de solução mãe. Após a eclosão dos ovos de *Artêmia salina*, 10 (dez) microcrustáceos foram transferidas para tubos de ensaio contendo a solução mãe, água destilada e as diferentes concentrações das amostras, conforme detalhado na Tabela 2.

Tabela 2- Planejamento experimental utilizado para o bioensaio de *Artemia Salina* sp.

Ensaio	Conc. (ppm)	VA (µL)	AS (mL)	AD (mL)	QART (Unidade)
Controle	0	0	5	5	10
1	250000	2500	5	5	10
2	125000	1250	5	5	10
3	25000	250	5	5	10
4	12500	125	5	5	10
5	6200	62	5	5	10

Cada ensaio foi realizado em triplicata

Conc.= Concentrações Testadas; VA= Volume das amostras; AS= Solução mãe; AD= Água Destilada, QART= Quantidade de *Artemia Salina* sp. por concentração.

Fonte: Autores, 2025

Após um período de 24 horas, foi realizada a contagem de *Artêmias salinas* vivas em cada tubo de ensaio. Com base nos resultados obtidos, calculou-se a média de *Artêmias salinas* mortas por tubo, seguida de sua percentagem correspondente. Uma dose letal capaz de causar a morte de 50% da população (DL_{50}) foi estimada a partir da relação linear entre a porcentagem de *Artêmias salinas* mortas e as concentrações das amostras testadas, utilizando uma planilha eletrônica para processamento dos dados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados obtidos para a porcentagem de *Artêmias salinas* mortas em cada concentração para cada resíduo de maracujá amarelo (RMA), estão dispostos na Tabela 3.

Tabela 3- Porcentagem de *Artêmias salinas* mortas por concentração

Ensaio	Concentrações testadas (ppm)	RMA1 (%)	RMA2 (%)	RMA3 (%)
Controle	0	-	-	-
1	250.000	50±0,41	33,33±0,00	0,00±0,00
2	125.000	11,11±0,82	11,11±0,00	0,00±0,00
3	25.000	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00
4	12.500	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00
5	6.200	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00

Os valores de porcentagem para as *Artêmias salinas* mortas foram obtidos através da fórmula: % = (média*100)/Quant. de *Artêmias salinas* vivas no controle.

RMA1- Casca ; RMA2- Albedo; RMA3- Casca+Albedo.

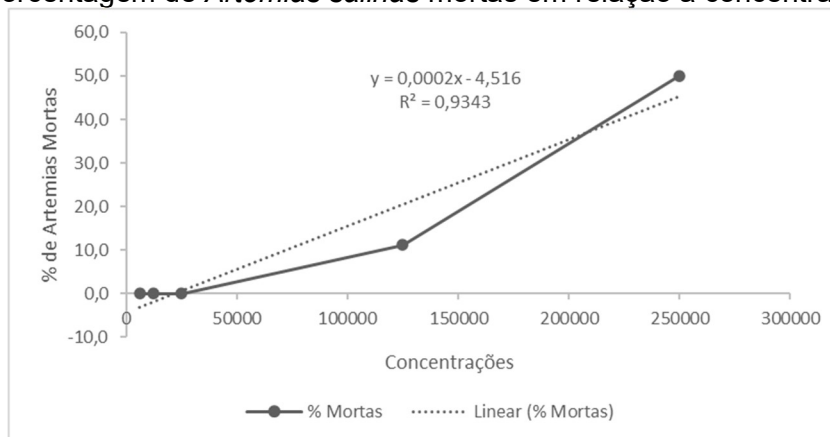
Fonte: Autores, 2025

Com base nos resultados apresentados na Tabela 3, observa-se que as diferentes concentrações dos resíduos testados tiveram efeitos variados sobre a mortalidade de *Artemia salina* sp.. No controle, onde não houve exposição a resíduos, não houve mortalidade, confirmando a viabilidade dos organismos sob condições normais.

Para o resíduo RMA1 (casca), a mortalidade foi de 50% na concentração de 250.000 ppm, indicando um efeito tóxico significativo nesta concentração. Já na concentração de 125.000 ppm, a mortalidade reduziu para 11,11%, e nas concentrações inferiores (25.000, 12.500 e 6.200 ppm), não houve mortalidade observada. Isso sugere que a mortalidade de *Artêmias salinas* do RMA1 diminui com a redução da concentração. O resíduo RMA2 (albedo) apresentou um padrão semelhante, com 33,33% de mortalidade na concentração de 250.000 ppm e 11,11% na concentração de 125.000 ppm. Nas concentrações mais baixas (25.000, 12.500 e 6.200 ppm), também não houve mortalidade, indicando uma menor mortalidade das *Artêmias salinas* em concentrações menores. Por outro lado, o resíduo RMA3 (casca + albedo) não apresentou mortalidade em nenhuma das concentrações testadas, incluindo a mais elevada de 250.000 ppm. Isso sugere que a combinação dos resíduos, na proporção avaliada, não exerce efeitos tóxicos significativos sobre as *Artêmias salinas*, indicando uma possível redução ou eliminação da toxicidade quando os resíduos são utilizados em conjunto.

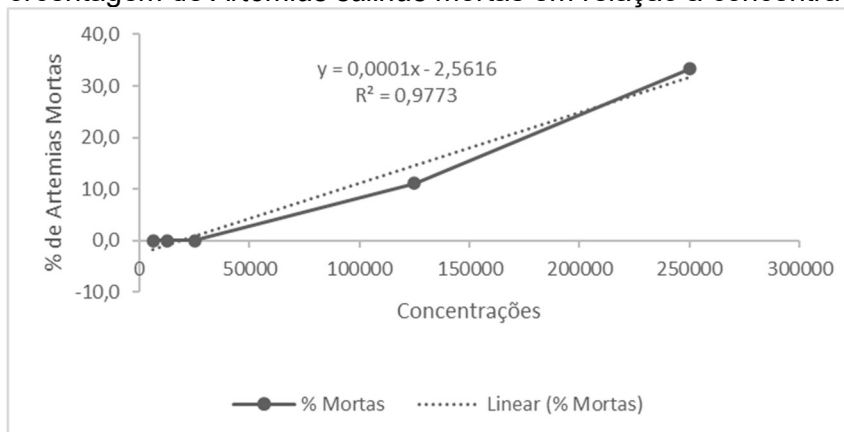
A partir dos valores de mortalidade observados para o RMA1 e RMA2, obteve-se gráficos de progressão linear (Figura 1 e 2) de concentração versus porcentagem de mortalidade, os quais permitiram determinar a dose letal capaz de matar 50% da população de *Artêmias salinas* (DL_{50}) para cada resíduo. Esses dados são essenciais para avaliar a toxicidade relativa dos resíduos e seu potencial uso ou descarte seguro, contribuindo para a compreensão do impacto ambiental desses materiais.

Figura 1 – Porcentagem de *Artêmias salinas* mortas em relação à concentração do RMA1



Fonte: Autores, 2025

Figura 2 – Porcentagem de *Artêmias salinas* mortas em relação à concentração do RMA2



Fonte: Autores, 2025

Os cálculos para obtenção da DL_{50} de cada amostra foram obtidos através da equação $y = a \cdot x + b$, substituindo y por 50%. Observa-se na Tabela 4 a DL_{50} encontrada para cada amostra e sua respectiva classificação.

Tabela 4- Dose letal de cada amostra em ppm

Amostra	DL_{50} (ppm)	Classificação
1	272.580,00	Atóxico
2	525.616,00	Atóxico

Fonte: Autores, 2025

De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS), são considerados tóxicos compostos que possuem $DL_{50} < 1000$ ppm para o bioensaio de *Artemia salina* sp. (5). Deste modo, nenhuma das amostras testadas se apresenta tóxica, dado que, os resíduos constituídos de casca e de albedo (RMA1 e RMA2) apresentaram DL_{50} acima de 1000 ppm. Esses resultados sugerem que os resíduos de maracujá amarelo, após cozimento por 20 minutos, não apresentam toxicidade significativa e podem ser considerados seguros para uso na produção de alimentos ou outros produtos, sem risco à saúde.

A presença de compostos cianogênicos é encontrado em todo o fruto do maracujá, com exceção da semente. Para o resíduo de maracujá amarelo (in natura), na literatura, encontram-se valores de teores de cianogênicos que variam de 65 a 594 $mg \cdot Kg^{-1}$, como exposto por Nascimento, *et al.* (11,13). A dose letal capaz de matar 50% de uma população (DL_{50}), neste estudo, encontra-se menor para o resíduo que contém apenas albedo do maracujá, tal fato pode ocorrer por um maior teor de compostos cianogênicos neste resíduo. Para o albedo do maracujá amarelo, Matsuura, *et al.* (14), encontrou um teor de compostos cianogênicos de 90,1 mg/kg (14).

Diversos estudos envolvendo a toxicidade do resíduo ou de produtos obtidos a partir do resíduo de maracujá amarelo, e demais variedades, vem sendo desenvolvidos nos últimos tempos. Medeiros, *et al.* (15) efetuaram ensaios clínicos toxicológicos na farinha de resíduo de maracujá amarelo, encontrando resultados satisfatórios, que indicaram que a farinha obtida se apresentava atóxica, podendo ser consumida sem gerar injúrias a o organismo humano (15). Cabral (16), estudou a composição química e o perfil toxicológico e farmacológico dos extratos obtidos a partir do resíduo industrial dos frutos de *Passiflora edulis f. flavicarpa* O. Deg. A autora concluiu a partir de um estudo toxicológico oral em *Rattus norvegicus*, que os extratos obtidos não apresentam riscos a saúde humana, podendo ser utilizados para obtenção de novos fitoterápicos (16). Wurlitzer, *et al.* (17) caracterizaram o maracujá-alho desidratado e averiguaram sua toxicidade frente ao bioensaio em *Artêmias salina*, onde verificaram que o produto não possuía característica toxica (17).

CONCLUSÕES

Os ensaios efetuados frente a toxicidade dos resíduos de maracujá amarelo em *Artemia salina* mostraram resultados satisfatórios. Verificou-se que todas as amostras estudadas, casca, albedo e casca+albedo, do resíduo do maracujá amarelo, cozidas por 12 minutos, se mostraram atóxicas, evidenciando seu uso para a elaboração de diversos produtos. Esses resultados reforçam a viabilidade do reaproveitamento desses resíduos e contribuem para a sustentabilidade e a redução de desperdícios.

Sendo assim, os resíduos estudados podem ser utilizados para obtenção de diversos alimentos, como bolos, sobremesas, geleias e compotas. Permitindo que novos produtos possam gerados com a reutilização de resíduos agroindustriais, contribuindo com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis da Organização das Nações Unidas (ONU), mais especificamente os objetivos 11 e 12, consumo responsável e cidades e comunidades sustentáveis.

Ainda, recomenda-se a realização de novas pesquisas, variando o tempo de cozimento e empregando outras metodologias, para aprofundar a avaliação da toxicidade e ampliar o entendimento sobre a segurança do uso desses resíduos.

REFERÊNCIAS

- (1) Oga, S; Camargo, M. M. de A; Batistuzzo, J. A. de O. **Fundamentos de toxicologia**. 5. ed. São Paulo, SP: **Atheneu**, 2021. *E-book*. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 15 fev. 2024.
- (2) Pimentel, L. C. F; Chaves, C. R; Freire, L. A; Afonso, J. C. O Inacreditável Emprego de Produtos Químicos Perigosos no Passado. **Quim. Nova**, Vol. 29, No. 5, 1138-1149, 2006.
- (3) Swanson, M. B.; Davis, G. A.; Kincaid, L. E.; *Environ. Toxicol. Chem.* 16, 372, 1997.
- (4) Moreira, A. O. M. **Avaliação da Atividade Tóxica em Artemia Salina Leach. de Extratos de Duas Espécies da Família Melastomataceae**. Tese (Trabalho de Conclusão de Curso para Obtenção de Título de Licenciatura em Química)- Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Goiás, Licenciatura em Química. Goiás, 2013.
- (5) Meyer, B. N. et al. A convenient general bioassay for active plant constituents. **Planta Médica**, v.45, p.31-34, 1982.
- (6) Teixeira, D; Pestana, D; Calhau, C; Graça, P. Linhas de Orientação Sobre Contaminantes de Alimentos. Programa Nacional para a Promoção da Alimentação Saudável. **Linhas de Orientação sobre Contaminantes de Alimentos**, 2015.
- (7) Lemos, A. C; Scaglione, P. T; Borba, V. S; Furlong, E. B; Contaminantes formados durante o processamento de alimentos. **Avanços em Ciência e Tecnologia de Alimentos** - Volume 1, 111-157, 2020.
- (8) Jardim, I. C. S. F; Andrade, J. de A. Resíduos de agrotóxicos em alimentos: uma preocupação ambiental global – um enfoque às maçãs. **Quim. Nova**, Vol. 32, No. 4, 996-1012, 2009.
- (9) Zeraik, M. L; Pereira, C. A. M.; Zuin, V. G; Yariwake, J. H. Maracujá: um alimento funcional?. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, 20(3): 459-471, Jun./Jul. 2010.
- (10) OLIVEIRA, A. .; MALTA, H. . CASCA DE MARACUJÁ: ASPECTOS GERAIS, PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS, APLICAÇÕES E PERSPECTIVAS. **ENCICLOPEDIA BIOSFERA**, (S. I.), v. 18, n. 38, 2021. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/5371>. Acesso em: 1 nov. 2024.
- (11) NASCIMENTO, E. M. da G. C. do; ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P. de; GALDEANO, M. C. Benefícios e perigos do aproveitamento da casca de maracujá (*passiflora edulis*) como ingrediente na produção de alimentos. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, (S. I.), v. 72, n. 1, p. 1–9, 2013. DOI: 10.18241/0073-98552013721536. Disponível em: <https://periodicos.saude.sp.gov.br/RIAL/article/view/32889>. Acesso em: 1 nov. 2024.

- (12) Nguta, J. M.; Mbaria, J. M.; Gakuya, D. W.; Gathumbi, P. K.; Kabasa, J. D.; Kiama, S. G. Biological screening of Kenyan medicinal plants using *Artemia Salina* L. (Artemiidae). **Pharmacologyonline** 2, p. 458-478, 2011.
- (13) CHAGAS, I. M. B; MARADINI FILHO, A. M. Análises físico-químicas e sensoriais de geleia elaborada com polpa e casca de maracujá. **Tecnologia de Alimentos: Tópicos físicos, químicos e biológicos**. v. 3, c. 2, p. 22-37. 2020.
- (14) MATSUURA, F. C. A. U.; MATSUURA, M. I. da S. F.; MENEZES, H. C. de. Albedo de maracujá amarelo: propriedades físicas e funcionais. In: **SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DE ALIMENTOS**, 6., 2005, Campinas/SP. Ciência de alimentos: abrindo caminhos para o desenvolvimento científico, tecnológico e industrial. Campinas/SP: FEA/Unicamp, 2005.
- (15) MEDEIROS, J. DOS S. et al. Ensaios toxicológicos clínicos da casca do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis*, f. *flavicarpa*), como alimento com propriedade de saúde. **Revista brasileira de farmacognosia: orgao oficial da Sociedade Brasileira de Farmacognosia**, v. 19, n. 2a, p. 394–399, 2009.
- (16) CABRAL, Bárbara. **Avaliação da composição química e do perfil toxicológico e farmacológico dos extratos obtidos do resíduo industrial dos frutos de *Passiflora edulis* f. *flavicarpa***. **O. Deg.** 2020. 198f. Tese (Doutorado em Ciências Farmacêuticas) - Centro de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020.
- (17) WURLITZER N.J; HOLANDA D.K.R; DIONÍSIO A.P; CAMPOS A.R; IUNES M.F; COSTA A.M. CARACTERIZAÇÃO DE MARACUJÁ-ALHO (*Passiflora tenuifila* Killip) E AVALIAÇÃO DO POTENCIAL TÓXICO COM USO DE BIOENSAIO COM *Artemia salina*. **XXV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de alimentos**, 2016.