



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DOS ALIMENTOS

Bheatriz Silva Morais de Freitas

Valorização do resíduo do pseudofruto de caju-de-árvore-do-cerrado
(*Anacardium othonianum* Rizz.): caracterização físico-química, composição fenólica
e bioacessibilidade *in vitro*

Florianópolis, SC
2024

Bheatriz Silva Morais de Freitas

Valorização do resíduo do pseudofruto de caju-de-árvore-do-cerrado
(*Anacardium othonianum* Rizz.): caracterização físico-química, composição fenólica
e bioacessibilidade *in vitro*

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação
em Ciência dos Alimentos do Centro de Ciências
Agrárias da Universidade Federal de Santa
Catarina para obtenção do título de Doutor em
Ciência dos Alimentos.
Orientadora: Profa. Dra. Renata Dias de Mello
Castanho Amboni

Florianópolis SC
2024

Ficha catalográfica

Freitas, Bheatriz Silva Moraes de
Valorização do resíduo do pseudofruto de caju-de-
árvore-do-cerrado (*Anacardium othonianum* Rizz.):
caracterização físico-química, composição fenólica e
bioacessibilidade in vitro / Bheatriz Silva Moraes de
Freitas ; orientadora, Renata Dias de Mello Castanho
Amboni, 2024.

107 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-
Graduação em Ciência dos Alimentos, Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Ciência dos Alimentos. 2. Ciência dos Alimentos. 3.
Compostos fenólicos. 4. Caracterização físico-química. 5.
Caju do Cerrado. I. Amboni, Renata Dias de Mello Castanho.
II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de
Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos. III. Título.

Bheatriz Silva Morais de Freitas

Valorização do resíduo do pseudofruto de caju-de-árvore-do-cerrado (*Anacardium othonianum* Rizz.): caracterização físico-química, composição fenólica e bioacessibilidade *in vitro*

O presente trabalho em nível de doutorado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. (a) Ana Carolina Moura de Sena Aquino, Dr. (a)
Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) – Campus Urupema

Prof. (a) Edna Regina Amante, Dr. (a)
Universidade Federal do Pará (UFPA)

Prof. (a) Itaciara Larroza Nunes, Dr.(a)
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Prof. (a) Vivian Maria Burin, Dr. (a)
Universidade de Santa Catarina (UFSC)

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de “Doutora em Ciência dos Alimentos” e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos.

Prof.(a) Itaciara Larroza Nunes, Dr.(a) Coordenação do Programa de Pós-Graduação em
Ciência dos Alimentos

Prof.(a) Renata Dias de Mello Castanho Amboni, Dr.(a)

Orientadora

Florianópolis 2024

*Dedico este trabalho aos meus pais, Geraldo e Doraci,
e aos meus tios, João Adalberto e tia mãe Lurdinha, e
minha avó Maria Borges, por todo apoio e incentivo nessa caminhada.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, pelo dom da vida, de concluir mais uma etapa com paz e saúde. Ao meu pai Geraldo, pela compreensão dos meus objetivos. Em especial, agradeço a minha mãe Doraci, que foi a base de todo o incentivo e que não mediu esforços me apoiando, para concluir mais um degrau na carreira acadêmica.

Agradeço a minha irmã Bethânia, juntamente com meu cunhado Evandro por me acolherem e me oferecerem oportunidade de vida profissional, além de nos presentear com a vinda do Álvaro. Ao meu irmão Geraldinho e sua família pelo carinho. Aos meus tios, João Adalberto e tia Mãe, por nunca medirem esforços quando precisei. A minha avó Maria, por todas as suas orações.

Com todo carinho, agradeço a minha Orientadora Prof. Dra. Renata Amboni, pela oportunidade, ensinamentos e principalmente pela confiança. Gratidão imensa pela paciência, parceria e toda dedicação desde o início até o final desse ciclo.

Agradeço aos meus amigos, Richard, Daiane, Carlen e Caroline que sempre me apoiaram para seguir em frente, principalmente nessa etapa final. A minha professora de faculdade Prof. Dra. Geovana Plácido pelo incentivo, e por me apresentar a família da Prof. Dra. Ana Maria Hecke e seu esposo Seik, que me acolheram em Florianópolis -SC, do qual sou grata pela recepção e os ensinamentos da convivência.

A Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e ao programa de Pós-graduação em Ciência dos Alimentos (PPGCAL) pela oportunidade e disponibilização da infraestrutura necessária.

A todos os professores do programa de Pós-graduação, funcionários, e aos meus colegas do Laboratório de Frutas e Hortaliças, pela ajuda e momentos compartilhados.

A FAPESC e a CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

A banca examinadora por aceitarem o convite e por todo conhecimento transmitido até aqui.

A todos que de alguma forma me auxiliaram nessa caminhada. Obrigada!

Não te perturbe, nem amedronte, tudo passa.

A paciência tudo alcança.

A quem tem Deus nada falta.

Só Deus basta.

(Santa Tereza D`Avila)

RESUMO

O caju do cerrado (*Anacardium othonianum* Rizz.) é um fruto nativo do Cerrado brasileiro, que apresenta fontes potenciais para exploração econômica, devido às suas propriedades nutricionais e características sensoriais atrativas. Durante o processamento da polpa do caju do Cerrado há a geração de cerca de 40% de resíduos, que são pouco explorados e/ou descartados. As diferenças da cor do resíduo do pseudofruto do caju do Cerrado (*A. othonianum* Rizz.) podem indicar diferenças na composição química e propriedades nutricionais, mesmo sendo o fruto da mesma espécie. Portanto, o objetivo do trabalho foi investigar o potencial nutricional do resíduo obtido do processamento do suco de caju do Cerrado de três cores diferentes e avaliar a bioacessibilidade dos compostos fenólicos e minerais destes resíduos. Esta tese foi dividida em três capítulos, sendo que o capítulo 1 consiste na revisão bibliográfica sobre o potencial das frutas nativas do Cerrado brasileiro, com foco na espécie de caju do cerrado (*A. othonianum* Rizz.) e seus compostos bioativos. No capítulo 2 está apresentado a caracterização físico-química, propriedades tecnológicas, avaliação dos compostos bioativos, e a investigação das diferenças nas composições químicas com base na composição monossacarídica, mineral e polifenólica do resíduo de caju do Cerrado amarelo (RCA), laranja (RCL) e vermelho (RCV). E no capítulo 3 está apresentado o estudo sobre o impacto da digestão gastrointestinal simulada *in vitro* na bioacessibilidade dos compostos fenólicos, capacidade antioxidante, macro e microelementos do resíduo de caju do Cerrado (*A. othonianum* Rizz.). Ainda não foi relatado o estudo sobre a bioacessibilidade dos fitoquímicos do bagaço do caju do Cerrado. As amostras dos resíduos de caju liofilizadas não diferiram ($p > 0,05$) em relação ao teor de umidade, fibra total, e fibra insolúvel. A amostra RCV foi a que mais se destacou para fenólicos totais, flavonoides, capacidade antioxidante e antocianinas, enquanto a amostra RCA apresentou maior teor de carotenoides com 63,80 ($\mu\text{g/g}$). A miricetina, ácido vanílico e o ácido gálico foram os polifenóis predominantes nas amostras, com destaque para a amostra RCA. Os resultados mostraram que independente da cor, o resíduo de caju do cerrado tem potencial para ser utilizado como importante fonte de fibras alimentares, vitamina C e minerais, como potássio e ferro. Todas as amostras apresentaram maior teor de compostos fenólicos após a digestão gástrica e intestinal. A maior capacidade antioxidante determinada pelo método ABTS foi observada em todas as amostras na fase intestinal, enquanto pelo método redutor férrico (FRAP), foi observado uma maior atividade antioxidante na fase gástrica. Para os fenólicos individuais, a maior bioacessibilidade foi observada para o ácido p-cumárico na amostra RCA (176,25 %) e a menor para isoquercetina na amostra RCV (44,56%). Em relação aos minerais, o Ca e o Mg tiveram uma maior bioacessibilidade para o resíduo de caju amarelo com 114,47 e 163,85%, respectivamente. De uma forma geral, concluiu-se que os resíduos de caju do Cerrado, independentemente da cor, podem ser um potencial ingrediente funcional para o desenvolvimento de novos produtos alimentícios, com possíveis benefícios promissores para a saúde humana, além de contribuir com a valorização dos frutos nativos Cerrado.

Palavras-chave: *Anacardium othonianum* Rizz., valorização dos resíduos, compostos bioativos e bioacessibilidade.

ABSTRACT

Cerrado cashew (*Anacardium othonianum* Rizz.) is a fruit native to the Brazilian Cerrado, which presents potential sources for economic exploitation, due to its nutritional properties and attractive sensory characteristics. During the processing of Cerrado cashew pulp, 40% of waste is generated, which is little explored and/or discarded. Differences in the color of the Cerrado cashew pseudofruit residue (*A. othonianum* Rizz.) may indicate differences in chemical composition and nutritional properties, even though the fruit is from the same species. Therefore, the objective of the work is to investigate the nutritional potential of the residue obtained from the processing of Cerrado cashew juice of three different colors and to evaluate the bioaccessibility of the phenolic and mineral compounds of these residues. This thesis was divided into three chapters, with chapter 1 consisting of a bibliographical review on the potential of native fruits from the Brazilian Cerrado, focusing on the cerrado cashew species (*A. othonianum* Rizz.) and its bioactive compounds. Chapter 2 presents the physical-chemical characterization, technological properties, evaluation of bioactive compounds, and the investigation of differences in chemical compositions based on the monosaccharide, mineral and polyphenolic composition of cashew residue from the yellow Cerrado (RCA), orange (RCL) and red (RCV). And in chapter 3, the study on the impact of simulated in vitro gastrointestinal digestion on the bioaccessibility of phenolic compounds, antioxidant capacity, macro and microelements of Cerrado cashew residue (*A. othonianum* Rizz.) is presented. A study on the bioaccessibility of phytochemicals from Cerrado cashew bagasse has not yet been reported. Freeze-dried cashew residue samples did not differ ($p > 0.05$) in relation to moisture content, total fiber, and insoluble fiber. The RCV sample was the one that stood out most for total phenolics, flavonoids, antioxidant capacity and anthocyanins, while the RCA sample had the highest carotenoid content. Myricetin, vanillic acid and gallic acid were the predominant polyphenols in the samples, especially the RCA sample. The results showed that regardless of color, cerrado cashew residue has the potential to be used as an important source of dietary fiber, vitamin C and minerals, such as potassium and iron. All samples showed a higher content of phenolic compounds after gastric and intestinal digestion. The greatest antioxidant capacity determined by the ABTS method was observed in all samples in the intestinal phase, while by the ferric reducing method (FRAP), a greater antioxidant activity was observed in the gastric phase. For individual phenolics, the highest bioaccessibility was observed for p-coumaric acid in the RCA sample (176.25%) and the lowest for isoquercetin in the RCV sample (44.56%). In relation to the minerals, Ca and Mg had greater bioaccessibility for yellow cashew residue with 114.47 and 163.85%, respectively. In general, it was concluded that cashew residues from the Cerrado, regardless of color, can be a potential functional ingredient for the development of new food products, with possible promising benefits for human health, in addition to contributing to the valorization of native Cerrado fruits.

Keywords: *Anacardium othonianum* Rizz., waste recovery, bioactive compounds and bioaccessibility.

5.1. COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS, COMPOSTOS BIOATIVOS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE <i>IN VITRO</i>	51
5.2. EFEITO DA EXTRAÇÃO ASSISTIDA POR ENZIMAS NO RENDIMENTO FENÓLICO.....	54
3.8. PERFIL DOS FENÓLICOS INDIVIDUAIS	55
3.9. PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS E PARÂMETROS DE COR.....	58
3.10. MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (<i>MEV</i>).....	61
3.11. CORRELAÇÃO ENTRE PERFIL POLIFENÓLICO, COMPOSIÇÃO MONOSSACARÍDICA E MINERAL.....	63
4. CONCLUSÕES	64
CAPÍTULO 3	65
IMPACTO DA DIGESTÃO GASTROINTESTINAL SIMULADA <i>IN VITRO</i> E CAPACIDADE ANTIOXIDANTE E BIOACESSIBILIDADE DOS COMPOSTOS FENÓLICOS E DOS MINERAIS DO RESÍDUO DO CAJU DO CERRADO (<i>Anacardium othonianum</i> Rizz.)	65
1. INTRODUÇÃO	68
2. MATERIAL E MÉTODOS	69
2.1. REAGENTES	69
2.2. OBTENÇÃO DO RESÍDUO DO CAJU DO CERRADO	69
2.3. SIMULAÇÃO GASTROINTESTINAL <i>IN VITRO</i>	70
2.4. COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE <i>IN VITRO</i> EM AMOSTRAS DIGERIDAS E NÃO DIGERIDAS.....	70
2.5. ANÁLISE DE COMPOSTOS FENÓLICOS INDIVIDUAIS EM AMOSTRAS DIGERIDAS E NÃO DIGERIDAS POR LC-ESI-MS/MS.....	71
2.6. COMPOSIÇÃO ELEMENTAR POR ICP OES.....	72
2.7. BIOACESSIBILIDADE DOS COMPOSTOS FENÓLICOS INDIVIDUAIS E MACRO E MICROELEMENTOS	72
2.8. ANÁLISE ESTATÍSTICA	72
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	73
3.1. EFEITO DA DIGESTÃO <i>IN VITRO</i> NO CONTEÚDO FENÓLICO E NA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE	73
3.2. EFEITO DA DIGESTÃO GASTROINTESTINAL <i>IN VITRO</i> SOBRE OS COMPOSTOS FENÓLICOS	75
3.3. EFEITO DA DIGESTÃO <i>IN VITRO</i> SOBRE OS MINERAIS E SUA BIOACESSIBILIDADE	78
4. CONCLUSÃO	82
CONSIDERAÇÕES FINAIS	83
REFERÊNCIAS	85
ANEXOS	106

ANEXO A – Primeira página do artigo, referente ao capítulo 2, publicado na revista <i>Food Science and Technology</i>	106
---	-----

1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma grande biodiversidade, com mais de 70% de todas as espécies existentes de fauna e flora. O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, reconhecido internacionalmente pela sua diversidade biológica, sendo considerado um dos principais centros de diversidade genética de frutos do mundo. Este bioma ocupa 23 % (2 milhões de km²) da área territorial brasileira e possui diversas espécies nativas que produzem frutos com características peculiares, formas, cores atraentes e com alto valor nutricional (Silva e Fonseca, 2016). Entretanto, grande parte desta “riqueza” continua subutilizada e com potencial desconhecido.

De uma forma geral, o consumo das frutas nativas e exóticas tem aumentado significativamente nos últimos anos. Consumidores estão sempre em busca por novos sabores, além da demanda mundial pela procura consciente em associar alimentação e saúde, através de frutas ricas em compostos bioativos (Birch e Bonwick, 2019).

Dentre os frutos do Cerrado, se destaca o caju do Cerrado (*Anacardium othonianum* Rizz.), que é diferente das demais espécies de *Anacardium* do Brasil, devido ao seu porte arbóreo que pode atingir até 6 m de altura. O pseudofruto maduro apresenta características de coloração variando do amarelo ao vermelho e polpa (bagaço) branco amarelado (Correa *et al.*, 2008). Outro diferencial dessa espécie são os tamanhos do fruto, com comprimento médio de 21,97 mm, largura de 18,61 mm e uma massa de 2,52 g aproximadamente (Oliveira *et al.*, 2019). Durante o processamento das polpas congeladas e dos sucos há a geração de grande quantidade de resíduos (a película e a fibra ou bagaço do pseudofruto). Porém, a rápida deterioração destes resíduos causada por microrganismos fungos e bactérias é um problema que exige grande atenção, visando alternativas de aproveitamento. O processamento destes resíduos pode facilitar o uso sustentável destes materiais, além de promover a concentração dos compostos bioativos, como fibra alimentar, compostos fenólicos e minerais (Izidoro *et al.*, 2008).

As diferenças na cor dos resíduos dos pseudofrutos dos cajus do Cerrado (*A. othonianum* Rizz.) amarelo, laranja e vermelho podem indicar diferenças na composição química e propriedades nutricionais, mesmo sendo o fruto da mesma espécie. Isso já foi relatado em outras pesquisas, com avaliação dos parâmetros bioquímicos dos sucos do “caju comercial” (*Anacardium occidentale*) das diferentes cores (Naka *et al.*, 2015), avaliação das cascas e polpas quanto aos perfis de

carotenoides e antocianinas (Schweiggert *et al.*, 2016) e dos compostos antioxidantes nas cascas liofilizadas (Moo-Huchin *et al.*, 2015).

Deve-se se levar em consideração que as partes consideradas resíduos possuem grande potencial como subprodutos, devido aos elevados teores de nutrientes e compostos bioativos, que muitas vezes podem ser superiores aos encontrados na polpa da fruta. Entretanto, é de grande importância avaliar as técnicas de extração usadas para obtenção de compostos bioativos de plantas alimentícias e resíduos agroindustriais. Pensando na melhor forma de otimização e extração dos compostos fenólicos, a combinação de extração assistida por enzimas e ultrassom, além de eficiente e ecologicamente correta, fornece uma estratégia eficiente para a extração destes compostos (Saeed, Ahmed e Mushtaq, 2022a).

A bioatividade desses compostos pode ser influenciada por diversos fatores, como a espécie vegetal utilizada e a bioacessibilidade dos compostos após a digestão gastrointestinal (Sun *et al.*, 2019). No trato gastrointestinal a influência do pH do ambiente e a ação dos sais biliares podem alterar as estruturas químicas, e assim resultar na modificação dos compostos fenólicos da matriz alimentar (Koehnlein *et al.*, 2016). Ainda não foi relatado o estudo sobre a bioacessibilidade dos fitoquímicos do bagaço do caju do Cerrado.

Devido a importância de expandir o conhecimento sobre o potencial nutricional, funcional e biológico do resíduo do pseudofruto de caju do Cerrado (*A. othonianum* Rizz.), este trabalho foi organizado em capítulos, sendo o primeiro dedicado à revisão bibliográfica e os demais voltados para a apresentação dos resultados da pesquisa experimental.

No capítulo 1, referente a revisão bibliográfica, são abordados os temas de potencial do Cerrado e das frutas nativas brasileiras; caju do Cerrado (*Anacardium othonianum* Rizz.); fibras alimentares e compostos bioativos de *A. othonianum* Rizz.; extração dos compostos bioativos e bioacessibilidade *in vitro*.

O capítulo 2 apresenta a caracterização físico-química, monossacarídica, mineral e de polifenóis, além das propriedades tecnológicas do resíduo de caju do Cerrado amarelo (RCA), laranja (RCL) e vermelho (RCV). Parte deste capítulo foi publicado na revista *Food Science and Technology* (Anexo A).

No capítulo 3 é apresentada a avaliação do impacto da digestão gastrointestinal simulada *in vitro* na bioacessibilidade dos compostos fenólicos, macro e microelementos do resíduo de caju do Cerrado (*A. othonianum* Rizz.).

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Investigar o potencial nutricional do resíduo obtido do processamento do suco de caju do Cerrado (*A. othonianum* Rizz.) de cores amarelo, laranja e vermelho e avaliar a bioacessibilidade dos compostos fenólicos e minerais destes resíduos.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Propriedades químicas e tecnológicas do resíduo de caju do Cerrado (*A. othonianum* Rizz.)

- Realizar a revisão bibliográfica com foco na espécie *Anacardium othonianum* Rizz.
- Caracterizar os resíduos de cores amarelo, laranja e vermelho em relação a composição química.
- Avaliar a microestrutura das amostras por microscopia eletrônica de varredura.
- Caracterizar a composição dos açúcares neutros e perfil dos monossacarídeos.
- Otimizar, extrair e determinar o perfil de compostos fenólicos
- Determinar o teor de fenólicos, flavonoides, carotenoides e antocianinas totais dos resíduos.
- Avaliar a capacidade antioxidante dos resíduos pelos métodos de ABTS, FRAP e DPPH.
- Avaliar as propriedades tecnológicas dos resíduos (capacidade de retenção de água, capacidade de retenção de óleo, índice de solubilidade em água e capacidade de intumescimento).

Bioacessibilidade *in vitro* dos compostos fenólicos, capacidade antioxidante e composição elementar do resíduo de caju Cerrado (*A. othonianum* Rizz.)

- Avaliar o comportamento dos polifenóis frente a digestão gastrointestinal simulada *in vitro* sobre a disponibilidade dos fenólicos totais e capacidade antioxidante pelos métodos ABTS e FRAP.
- Quantificar e identificar os compostos fenólicos individuais dos resíduos após a simulação gastrointestinal *in vitro*.
- Determinar e analisar o efeito da digestão *in vitro* nos constituintes minerais.
- Avaliar a bioacessibilidade dos compostos fenólicos individuais e minerais através da a simulação da digestão gastrointestinal *in vitro*.

CAPÍTULO 1
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1. POTENCIAL DO CERRADO E FRUTAS NATIVAS BRASILEIRAS

O Cerrado brasileiro é o segundo maior bioma da América do Sul, ocupando uma área de aproximadamente 2.036.448 km², o que equivale a aproximadamente 22% de todo o território nacional. Em relação a diversidade biológica, este bioma é reconhecido como a savana mais rica do mundo, abrigando 11.627 espécies de plantas nativas já catalogadas (Brasil, 2019). Esse bioma ocupa um quarto do território nacional, e em partes possui uma ocupação de 100% do Distrito Federal, 97% de Goiás, 91% do Tocantins, 65% do Maranhão, 61% do Mato Grosso do Sul e 57% de Minas Gerais, além de outras áreas menores (Fines e Curvo, 2019; Ribeiro Neto *et al.*, 2020).

O Cerrado cobre três das maiores bacias hidrográficas da América do Sul, e contribui com aproximadamente 43% das águas superficiais do Brasil, fora da Amazônia (Strassburg *et al.*, 2017). Em relação ao aspecto biofísico, a vegetação é caracterizada por árvores pequenas, galhos retorcidos, arbustos espaçados, e entre outras características que são dependentes da localização, sendo cada região um aspecto de vegetação peculiar. Fatores como o clima e diferentes tipos de solo são características principais da vegetação do Cerrado brasileiro, do qual as espécies predominantes são capazes de suportar ambientes extremos, como temperaturas elevadas e baixa umidade (Arruda, Araújo e Marostica Junior, 2022). Esses fatores levam as plantas nativas a se adaptarem no seu percurso do processo evolutivo para resistirem cada vez mais ao estresse oxidativo causados por essas condições (Arruda, Araújo e Marostica Junior, 2022; Cavalcante, 2018).

As espécies nativas do Cerrado apresentam um grande potencial de aproveitamento, devido as suas sementes, flores, frutos, folhas, raízes, cascas do tronco, látex e resinas serem empregados tanto para a formulação de alimentos, produtos farmacêuticos, como também na utilização de medicamentos (Arruda, 2017; Gonçalves *et al.*, 2013). As plantas têm sido amplamente utilizadas na medicina popular. Conhecidas também como plantas medicinais, vários estudos e pesquisas, tem investigado a triagem de extratos e óleos essenciais com potencial atividade antifúngica e antibacteriana (Cruz *et al.*, 2019).

No bioma Cerrado, as plantas ocupam lugar importante no ecossistema. Os frutos que são bastante apreciados pela população, contribuem no papel econômico, pois através do desenvolvimento de produtos, há uma geração de renda local (Reis e

Schmiele, 2019). De acordo com Dutra e Souza (2017), as práticas agroextrativistas apoiam a permanência da população no campo, com a geração e distribuição de renda, da produção agropecuária sustentável, aliada à utilização consciente da biodiversidade, contribuindo na conservação dos ecossistemas. O agro extrativismo no Cerrado é um dos mais impactados pelas atividades humanas, mesmo possuindo grande importância socioeconômica para a população regional, que sobrevive em partes desses recursos (Bispo *et al.*, 2021). Diante desse cenário, é importante valorizar a importância do incentivo e de atuação junto as comunidades nativas, fortalecendo a agricultura familiar, o conhecimento e a cultura geracional, contribuindo com a preservação ambiental e o uso sustentável (Cavalcante, 2018).

No centro-oeste brasileiro, muitas espécies de frutas nativas são utilizadas de forma sustentável, tanto pelas populações regionais, como também pela indústria alimentícia, como forma de valorização e preservação das espécies. É importante ressaltar que a caracterização físico-química das frutas nativas do Cerrado e a quantificação dos seus nutrientes são de grande importância para o entendimento do seu valor nutricional, da composição química, contribuindo em melhorar a qualidade e agregar valor ao produto final (Schiassi *et al.*, 2018; De Souza *et al.*, 2012). Na Tabela 1 estão apresentados alguns resultados de estudos, com caracterizações químicas de frutos nativos do Cerrado brasileiro.

Tabela 1 - Composição de algumas espécies de frutas nativas do Cerrado.

Fruto	Parte do fruto	Análise	Valores	Referência
Cagaita (<i>Eugenia dysenterica</i> DC.)	Polpa	Vitamina C	31,95 ± 0,37 mg/100g	Schiassi <i>et al.</i> (2018)
	Polpa	Ferro	11,53 ± 1,82 mg/100g	Nascimento <i>et al.</i> (2020)
	Polpa	Fenólicos totais	0,90 ± 0,01 mg EAG/mL	Donado-Pestana <i>et al.</i> (2018)
Mangaba (<i>Hancornia speciosa</i>)	Polpa e casca	Vitamina C	165,82 ± 24,46	Cardoso <i>et al.</i> (2014)
	Polpa	Potássio Fenólicos totais	161,45 ± 10,82 46,85 ± 0,20 mg EAG/100g	Schiassi <i>et al.</i> (2018)
Cajuí (<i>Anacardium humile</i>)	Polpa e casca	Vitamina C	7,5 mg/100g	Borges <i>et al.</i> (2022)
		antocianinas Fenólicos totais	110,6 mg/100g 36,3 mg/100g	
	Polpa e casca	β-caroteno	136,13±18,3 µg/100g	Rocha <i>et al.</i> (2013)
Araçá-boi (<i>Psidium guineense</i> Swartz)		Vitamina C	24,95 mg/100 mL	De Araújo <i>et al.</i> , (2019)
	Bagaço	Carotenoides Fenólicos totais	33,39 µg β-caroteno/g 43,7 ± 1,4 mg/g	Dos Santos <i>et al.</i> (2023)
	Resíduo	Flavonoides	2,52±0,25 mg/100g	Barros <i>et al.</i> (2017)
Pequi (<i>Caryocar brasiliense</i> Camb.)	Polpa	Vitamina C	6,63 ± 1,02 mg/100g	Machado, Mello e Hubinger (2015)
	Farinha da casca	Fenólicos totais	17,42 ± 0,53 g EAG/100 g	Leão <i>et al.</i> (2017)
		Carotenoides	3499,03 ± 28,91 µg/100 g	
	Farinha da polpa	Cálcio	18,80 ± 0,98 mg/100g	Silva <i>et al.</i> (2022)
		Magnésio	72,76 ± 2,66 mg/100g	

Infelizmente o Cerrado brasileiro vem sofrendo um acelerado processo de degradação, devido a expansão da pecuária e também da agricultura. Os problemas ambientais causados pela agricultura são decorrentes da natureza intensiva e extensiva, das práticas agrícolas que geram efeitos locais, externos e globais ao meio ambiente (Cavalcante, 2018).

O mapeamento de ocupação e uso da terra do estado de Goiás (referente ao ano base 2002) mostra que 64% da vegetação do bioma Cerrado foi convertida em atividades agrícolas, e muitos desses desmatamentos foram causados pela agricultura de soja (Escobar *et al.*, 2020; Paim *et al.*, 2023). Essa intensa ação do ser humano com o Cerrado é resultado dos grandes interesses econômicos pelos produtos agrícolas (Dias, Moschini e Trevisan, 2017).

Estudos recentes têm apresentado grandes preocupações em relação ao desmatamento do Cerrado. De acordo com Martello *et al.* (2023), a substituição da vegetação nativa do Cerrado por lavouras e pastagens tem comprometido a diversidade funcional das plantas no ecossistema. Silva *et al.* (2023) investigaram os fatores que afetam a regeneração da vegetação nativa nas pastagens do Cerrado e avaliaram a contribuição dos atributos biofísicos, de manejo do solo e da paisagem. Contudo, este estudo revelou que o potencial da regeneração natural da vegetação nativa é altamente variável nas pastagens cultivadas do Cerrado, e que políticas nacionais podem promover a restauração da vegetação e contribuir com a implantação previsível e de baixo custo. Para Carvalho *et al.* (2023), compreender a distribuição da dinâmica de ocorrência do fogo em áreas protegidas do Cerrado contribui para aprimorar as ações de manejo, preservação e conservação, devido às mudanças climáticas ocorridas com o desmatamento do bioma.

Apesar da literatura apresentar diversos estudos com pesquisas científicas e dados relevantes sobre diferentes frutas do Cerrado brasileiro, seus benefícios à saúde humana ainda permanecem cientificamente pouco explorados. Muitas dessas espécies populares nativas amplamente difundidas no Brasil, são ricas em compostos bioativos (Dos Santos *et al.*, 2023).

Dentre os frutos do Cerrado se destaca o caju do Cerrado (*Anacardium othonianum* Rizz.), que é diferente das demais espécies de *Anacardium* do Brasil. É popularmente conhecido como cajuí, caju do campo, ou cajuzinho do Cerrado. Essa espécie é considerada regionalmente importante e tem ampla aceitação, pelo seu

sabor peculiar, podendo ser consumido *in natura*, ou como produtos derivados (Curado *et al.*, 2016).

2. CAJU DO CERRADO (*Anacardium othonianum* Rizz.)

O caju do Cerrado (*Anacardium othonianum* Rizzini) pertence à família Anacardiaceae. Família que possui aproximadamente 81 gêneros e 800 espécies, encontradas em ambientes secos a úmidos, presentes em regiões tropicais e subtropicais em todo o mundo, estendendo-se até regiões temperadas (Pell *et al.*, 2011). No Brasil, a família Anacardiaceae encontra-se representada por 15 gêneros e 64 espécies (19 endêmicas), com maiores concentrações de espécies na Mata Atlântica (32 espécies) e na Amazônia (26 espécies) (Silva-Luz *et al.*, 2020).

O gênero *Anacardium* L. compreende aproximadamente 38 espécies de plantas silvestres e cultivadas, cada uma com sua importância socioeconômica e ecológica, sendo essas plantas encontradas tanto na Floresta Amazônica como também do Cerrado brasileiro. Dentre essas espécies, apenas o *Anacardium occidentale* L. é cultivado para fins comerciais em diferentes partes do mundo. O *Anacardium othonianum* Rizzini é colhido para subsistência de comunidades de baixa renda da região central do Brasil. Já outras espécies como *Anacardium humile* St. Hilaire, *Anacardium nanum* St. Hilaire e *Anacardium corymbosum* Barb. Rodr, são consideradas silvestres, e servem como fonte de alimento para animais nativos (Agostini-Costa *et al.*, 2006). A distinção do *A. othonianum* para as demais espécies existentes de caju, ocorre devido ao seu porte arbóreo, que chega a atingir até 6 m de comprimento e 20-40 cm de diâmetro, com folhas coriáceas que medem 12-17 cm x 8-11 cm, além de ser considerado o cajueiro de destaque quanto a importância econômica para a região Centro-Oeste, e encontrado principalmente em solo seco, campo sujo e cerrado (Agostini-Costa *et al.*, 2006; Correa *et al.*, 2008).

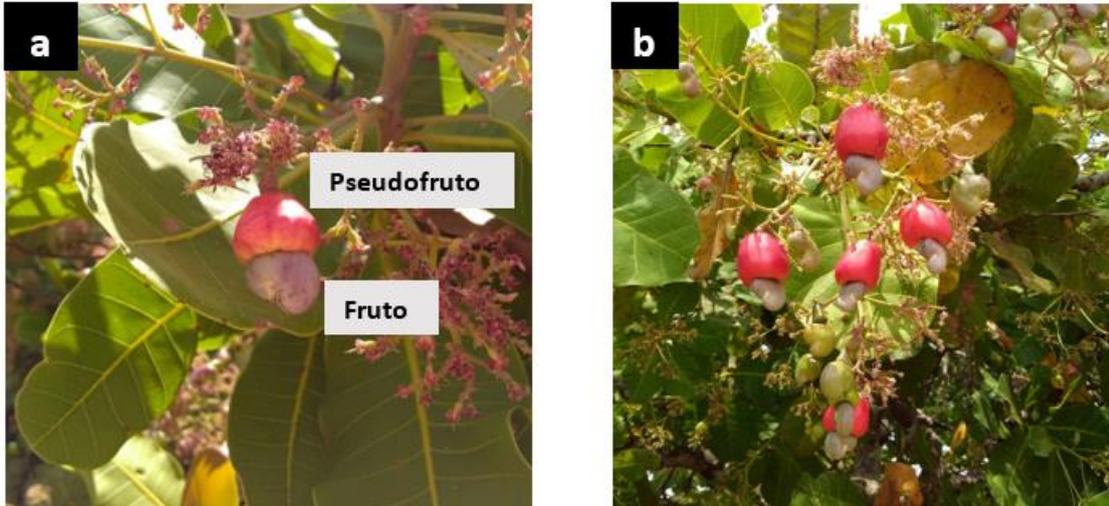
É importante ressaltar as diferenças entre as espécies de caju do gênero *Anacardium*, se tratando principalmente do caju do Cerrado da espécie *Anacardium othonianum* Rizz. e o caju da espécie *Anacardium occidentale* L., sendo este, conhecido como “caju comercial” ou chamado de “caju do nordeste”.

A espécie *A. occidentale* é cultivada em pelo menos 33 países ao redor do mundo. O Brasil é o maior produtor de pseudofruto do caju *A. occidentale* e o décimo maior produtor de castanha de caju (fruto) (FAO, 2017). A maior diversidade do *A.*

occidentale está no nordeste brasileiro, especialmente nos estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, sendo considerada a única espécie de *Anacardium* cultivada e encontrada com facilidade em várias regiões (Rabbani *et al.*, 2012). O pseudofruto, também conhecido como pedúnculo, é a parte suculenta que corresponde a 90% do seu peso, que varia em relação ao seu formato e a cor, e quando maduro pode ser consumido diretamente, possuindo forte sabor e adstringência. O pseudofruto é considerado fonte de polifenóis, vitaminas e minerais (Das e Arora, 2017) e é amplamente utilizado pela indústria alimentícia para obtenção de diversos produtos, como polpa congelada, suco, vinho, refrigerantes, doces e conservas (Reina *et al.*, 2022). A castanha de caju é o principal produto comercial, e representa apenas 10% do peso total do caju colhido. A quantidade de nutrientes, sabor agradável e várias propriedades biológicas é o que conferem valor agregado às nozes (Sruthi e Naidu, 2023).

Já o *A. othonianum* é reconhecido como uma espécie distinta das demais, especialmente pelas suas características selvagens do Cerrado (Andrade *et al.*, 2019). Essa espécie está localizada principalmente no Cerrado do planalto central brasileiro, habitando entre as áreas de campo sujo e “cerradão” (Silva *et al.*, 2017). O pseudofruto maduro apresenta coloração variando do amarelo ao vermelho e polpa (bagaço) branco amarelado. Esse pseudofruto é rico em compostos fenólicos, flavonoides e vitamina C (Alves *et al.*, 2017). A castanha torrada (fruta verdadeira) é bastante apreciada pelo seu sabor e textura (Correa *et al.*, 2008). Os frutos de caju do Cerrado contêm duas partes, o pseudofruto e o fruto (Figura 1.a). A castanha do caju (fruto) possui um peso médio de aproximadamente 2,52 g, comprimento médio de 21,97 mm e largura de 18,61 mm (Oliveira *et al.*, 2019). Já os tamanhos dos pseudofrutos variam entre 2 e 4 cm de comprimento e entre 2 e 3 cm de diâmetro, com massa variando de 5 a 12 g.

Figura 1 - a) Fruto: castanha; Pseudofruto: pedúnculo (*Anacardium othonianum* Rizz.). b) Florescimento e estágio de maturação do *Anacardium othonianum* Rizz.



Fonte: Próprio autor (2017).

O caju do Cerrado é encontrado em altitudes de 380 a 1100 m, ocorrendo em maiores densidades em altitudes acima de 790 m. Essa espécie é considerada nativa por não ser proveniente de um plantio organizado, do qual é adaptada à região do Cerrado, com tolerância a temperaturas elevadas, períodos de secas e solos ácidos (pH 4,5 - 6,5). A sua propagação é feita basicamente por condições naturais, ocorrendo de forma irregular e lenta e os nutrientes como nitrogênio e cálcio são os que mais se acumulam nas plantas (Assis et al., 2011; Bessa et al., 2017).

O período de floração do caju do Cerrado (Figura 1b) ocorre entre junho e outubro, com produtividade de 200 a 600 frutos por planta. Já o período da colheita dos frutos ocorre na época de verão intenso e clima com baixa umidade na região do centro-oeste, entre os meses de setembro e outubro (Correa et al., 2008).

A árvore desta espécie de *A. othonianum* Rizz. possui propriedades que são utilizadas na medicina popular (Rosa et al., 2020). Extratos das folhas, cascas, raízes e nozes são utilizados pela população local devido às suas propriedades anti-inflamatórias (Gazolla et al., 2017). Todas essas propriedades podem estar relacionadas à presença de substâncias bioativas, entre elas os flavonoides, taninos, ácidos fenólicos e cumarinas, típicos, em geral entre o gênero *Anacardium* (Encarnação et al., 2016).

Alguns estudos têm sido realizados com esta espécie, como a extração dos polissacarídeos do tronco (Silva et al., 2017), além de estudos fenológicos sobre as plantas (Belo et al., 2019), caracterização e absorção de nutrientes para produção de

mudas (Bessa *et al.*, 2019), e caracterização físico-química do caju do Cerrado (Tabela 2).

Tabela 2 - Composição nutricional e caracterização físico-química do caju do cerrado (*A. Othonianum* Rizz).

Análises	Pseudofruto	Referências	Análise	Pseudofruto	Referências
Proteínas	1,18 ± 0,02 g/100g	Silva, <i>et al.</i> , (2008)	Umidade	84,34 ± 1,71 g/100g	Alves, Alves e Naves, (2013)
Lipídios	0,63 ± 0,05 g/100g		Proteína	1,42 ± 0,22 g/100g	
Carboidratos	6,97 ± 0,16 g/100g	Silva, A. L. L. <i>et al.</i> , (2020)	Lipídeo	0,55 ± 0,08 g/100g	Santana <i>et al.</i> , (2020)
Fibra alimentar	4,26 ± 0,16 g/100g		Carboidrato	13,43 ± 2,03 g/100g	
Cálcio	15,0 ± 5,20 mg/100g		Vitamina C	43,9 ± 19,5 mg/100g	
Zinco	0,65 ± 0,10 mg/100g		Vitamina C	5,48 ± 0,10 mg/100g	
Ferro	0,26 ± 0,03 mg/100g				
Sólidos solúveis	Suco do pseudofruto 12,13 ± 0,05 °Brix		Proteína	Suco clarificado 0,58 ± 0,04 g/100g	
Açúcares totais	4,30 ± 0,09 g glucose/ 100ml		Lipídeo	0,11 ± 0,00 g/100g	
Vitamina C	30,65 ± 3,25 mg/100ml		Carboidrato	10,88 ± 0,17 g/100g	
Potássio	0,38 ± 0,02 mg/100ml		Vitamina C	68,34 ± 0,52 mg/100mL	
Cálcio	0,56 ± 0,01 mg/100ml				
Ferro	1,27 ± 0,25 mg/100ml				

Devido à suculência e ao gosto ácido do pseudofruto do caju do Cerrado, essa espécie é principalmente utilizada de forma regional como matéria-prima na elaboração de polpas congeladas, sucos, doces, licores e bebidas (Agostini-Costa *et*

al., 2006). A literatura apresenta vários estudos com produtos desenvolvidos através do processamento do pseudofruto de *A. othonianum* Rizz. Martins, Cunha e Silva (2008) desenvolveram passas de caju do Cerrado utilizando a desidratação osmótica seguida de secagem convectiva, e observaram que o tratamento realizado por 4 horas, temperatura de 30 °C e 40 °Brix atingiu os critérios de uma maior perda de peso e água e uma maior concentração de vitamina C. Já no estudo de Gonçalves *et al.* (2009) foi utilizado o cajuzinho do cerrado como matéria prima para produção de aguardente, obtendo um produto com características físico-químicas dentro dos parâmetros estabelecidos na legislação brasileira, além de agregar valor ao produto. No estudo de Fonseca *et al.* (2014) foi desenvolvido iogurte com adição da polpa de caju (*A. othonianum* Rizz) e verificaram que a adição da polpa contribuiu para a diversificação de compostos voláteis formadores de aroma e sabor no produto. Um outro produto desenvolvido foi granola com adição do pseudofruto de caju seco através da desidratação osmótica, que apresentou potencial nutricional devido aos teores consideráveis de proteína, fibras e ferro (Souza e Silva, 2015).

No desenvolvimento de suco de caju clarificado (*A. othonianum* Rizz.) foram obtidos parâmetros de qualidade característicos de um suco potencialmente probiótico, e fonte de vitamina C e minerais (Santos *et al.*, 2020; Santana *et al.*, 2020; Silva, *et al.*, 2020). O pseudofruto de *A. othonianum* Rizz. também foi utilizado na produção de vinagre por fermentação submersa, com altas concentrações de ácido acético e ácido isovalérico, além de minerais como Fe, Mn e Zn (Neves *et al.*, 2021).

A utilização do pseudofruto de caju do Cerrado em novos produtos é importante para a exploração e valorização do fruto. Entretanto, neste processamento há geração de grande quantidade de resíduos (a película e a fibra ou bagaço do pseudofruto), que precisam ser caracterizados em relação aos seus compostos bioativos, como fibra alimentar, compostos fenólicos e minerais, contribuindo com a diminuição do impacto ambiental e a valorização do Cerrado.

3. FIBRAS ALIMENTARES E COMPOSTOS BIOATIVOS DE *A. othonianum* RIZZ.

A produção e o processamento de frutas e vegetais geram quantidades substanciais de resíduos/subprodutos. Os resíduos agroindustriais constituídos por cascas, sementes, e fibras da polpa de frutos, constituem cerca de metade (50%) da fruta processada *in natura* (Tariq *et al.*, 2023). As sobras de frutas em sua maioria são

descartadas por não ter importância comercial, nem valor de mercado (Amran *et al.*, 2021). Os resíduos de frutas contêm uma ampla gama de compostos bioativos, como fenólicos, minerais e fibras alimentares (Ray *et al.*, 2023). Os compostos bioativos associados a fibra alimentar apresentam efeitos benéficos a saúde, além de auxiliarem na prevenção de várias doenças como atividade anti-inflamatória e anticancerígena (Bhatt e Gupta, 2023).

Muitos estudos vêm mostrando pesquisas relacionadas com as fibras provenientes de resíduos orgânicos, devido ao potencial nutracêutico e também em relação as propriedades tecnológicas das fibras na indústria alimentícia, como melhoria as características físicas, químicas e funcionais de vários produtos (Cheong *et al.*, 2022; Gill *et al.*, 2021; Kaur *et al.*, 2023).

Fibras alimentares são partes comestíveis de plantas ou carboidratos análogos que são resistentes a digestão e absorção no intestino delgado humano e fermentadas no intestino grosso (Dhingra *et al.*, 2012). Podem ser classificadas em duas principais categorias, como fibra alimentar insolúvel e solúvel. A fibra insolúvel contém celulose, hemicelulose, lignina e outros, enquanto a fibra solúvel inclui pectina, gomas, oligossacarídeo etc. (Zou *et al.*, 2022).

A fibra do bagaço de caju contribui na manutenção do funcionamento do corpo humano, sendo comprovada sua fermentação colônica, exercendo vários benefícios à saúde, dependendo do tipo de processamento que foi utilizado para obtenção da mesma (Carvalho *et al.*, 2018). Poucos estudos foram encontrados até o presente momento em relação a fibra do bagaço de caju *A. othonianum* Rizz. No estudo de Silva *et al.* (2008) avaliando a caracterização físico-química dos frutos nativos do Cerrado, foi encontrado um teor de 4,46 g/100 g de fibra alimentar para o pseudofruto de caju do Cerrado (*A. othonianum* Rizz.). Em outro estudo, Lima *et al.* (2021) avaliaram a adição do *Rhizopus oligosporus* como microrganismo biotransformador para fermentação do subproduto (fibra do bagaço) de *A. othonianum* Rizz. Contudo, foi observado que a composição deste subproduto apresentou nutrientes viáveis para utilização como substrato para micro-organismos, além de ser utilizado como um subproduto para produção de ingrediente de alta proteína, antioxidante e fibra alimentar.

A fibra do caju apresenta potencial utilização como fibra dietética antioxidante, pelo elevado conteúdo de compostos antioxidantes associados à sua matriz. Parte dos fenóis associada a essa fibra, justifica o melhor aproveitamento do bagaço, como

uma forma de incorporação de fibras em alimentos (Rufino *et al.*, 2010). Estudos revelam que compostos bioativos, como compostos fenólicos e carotenoides, podem estar associados às fibras alimentares dos resíduos do processamento de frutas (Leão *et al.*, 2017). Neste aspecto, estes compostos bioativos associados às fibras representam uma fração pouco explorada de antioxidantes alimentares quando comparados aos compostos bioativos livres (Quatrin *et al.*, 2019).

No estudo de Rocha *et al.* (2011) foram encontrados elevados teores de compostos fenólicos (197 mg EAG/100g) e taninos condensados (164 mg ECA/100g), no caju do Cerrado, indicando que os compostos fenólicos se encontram predominantemente na forma de taninos, que provavelmente estão associados à adstringência dos frutos. Alves *et al.* (2017) avaliaram a composição de antocianinas representadas por aglicona, e descobriram que a principal antocianina identificada no caju do Cerrado foi a peonidina.

Já o estudo de Oliveira *et al.* (2019) sobre a caracterização físico-química de vários acessos de frutos e pseudofrutos de caju do Cerrado (*A. othonianum* Rizz.) mostrou, que embora os acessos sejam todos da mesma espécie, a composição química e a caracterização física desses frutos pode variar. Entre os 30 acessos avaliados foram identificados 14 compostos, sendo os mais comuns a vitexina, hesperidina e a epicatequina. Esse estudo foi o único relatado até o momento sobre a identificação e quantificação dos flavonoides do *A. othonianum* Rizz. Na tabela 3 estão apresentados alguns resultados dos estudos de compostos bioativos e fenólicos do caju de árvore do Cerrado (*A. othonianum* Rizz.).

Tabela 3 - Composto bioativos, fenólicos e flavonoides do pseudofruto e suco do caju do Cerrado (*A. Othonianum* Rizz).

Análises	Pseudofruto	Referências	Análise	Pseudofruto	Referências
Fenólicos Totais	197 ± 5 mg EAG/100g	Rocha <i>et al.</i> , (2011)	Fenólicos Totais	279,3 ± 50,4 mg EAG/100g	Alves, Alves e Naves (2013)
Taninos condensados	164 ± 2 mg EAC/100g		Antioxidante DPPH	22,7 ± 11,2 g/g DPPH	
			Flavonoides		
Fenólicos Totais	160,74 ± 6,48 mg EAG/100g	Alves <i>et al.</i> , (2017)	Vitexina	0,124 g/kg	Oliveira <i>et al.</i> (2019)
Antioxidante DPPH	10 µmol TE/ g		Hesperidina	0,103 g/kg	
Antioxidante FRAP	14 µmol TE/g		Epicatequina	0,055 g/kg	
Antioxidante ORAC	9,2 µmol TE/ g				
	Suco do pseudofruto			Suco clarificado	
Taninos Totais	94,50 ± 5,00 mg/100mL	SILVA, A. L. L. e <i>et al.</i> , (2020)	Fenólicos totais	90 ± 1 mg EAG/100mL	Santana <i>et al.</i> (2020)
Fenólicos Totais	50,04 ± 1,38 µg EAG/ 100 mL		Flavonoides	131 ± 8 mg EP/100mL	
Antioxidante DPPH	6,60 ± 0,61 mM TE/mL		Antocianinas	1,55 ± 0,13 mg/L	
			Antioxidante ABTS	7,19 ± 0,14 µM TE/mL	

EAG: equivalente de ácido gálico. TE: equivalente de trolox. EAC: equivalente de catequina. EP: equivalente de pirocatequina.

Devido a presença de teores significativos desses compostos bioativos em frutos e subprodutos de frutas, muitas pesquisas vêm sendo abordadas com diversas técnicas e métodos de extração. Estes compostos bioativos podem ser extraídos através de metodologias sustentáveis para futuras aplicações industriais, biológicas e alimentares. É de grande importância as combinações de diferentes tecnologias de extração para obter compostos com maior pureza, e assim melhorar a eficiência do processo. E dentre essas combinações está a extração com água, que pode ser assistida por ultrassom, enzimas ou também por infusão. Essas técnicas e

metodologias tem como principal objetivo reduzir ou eliminar o uso de solventes químicos tóxicos, aumentando o rendimento da qualidade do extrato e diminuindo tempo de extração e consumo de energia (Ummat *et al.*, 2021).

4. EXTRAÇÃO DOS COMPOSTOS BIOATIVOS

A extração é considerada o processo de transferência de massa que depende principalmente da acessibilidade dos compostos bioativos alvo ao solvente (Romero-Díez *et al.*, 2019).

As plantas, em especial os frutos, são fontes de inúmeros compostos bioativos como vitamina C, flavonoides, fenólicos, carotenoides etc. A extração desses compostos bioativos pode ser categorizada em técnicas convencionais e não convencionais. A extração convencional, também conhecida como extração sólido – líquido (maceração), vem sendo utilizada há décadas, embora tenha limitações em termos de maior tempo de extração e maior consumo de solvente, além de alto consumo de energia e baixa eficiência de extração (Naffati *et al.*, 2017). A maceração, baseada na lixiviação de compostos de materiais sólidos, era tradicionalmente utilizada para a recuperação de compostos bioativos de materiais vegetais. Essa técnica usa solventes em combinação com calor e/ou agitação para melhorar a transferência de massa e a solubilidade dos compostos (Agregán *et al.*, 2021; Picot-Allain *et al.*, 2021). Entretanto, a perda de polifenóis tem sido notada por ionização, hidrólise e oxidação durante o processo de extração quando se aplica o longo tempo de extração (Jha e Sit, 2022).

Os métodos não convencionais têm sido usados para extração de compostos de plantas alimentícias e resíduos agroindustriais com intuito de mitigar as limitações associadas aos métodos convencionais de extração (Picot-Allain *et al.*, 2021). Essas tecnologias incluem métodos de extração de líquido pressurizado, extração de fluido supercrítico, extração assistida por ultrassom, extração assistida por solvente eutético profundo, extração assistida por plasma frio, extração assistida por micro-ondas, extração assistida por enzimas e tecnologias elétricas. Estes métodos facilitam a eliminação ou redução do uso de solventes químicos tóxicos, aumentam a eficiência da extração, bem como o rendimento e a qualidade do extrato obtido.

4.1. EXTRAÇÃO ASSISTIDA POR ULTRASSOM E ENZIMAS

A extração assistida por ultrassom é uma alternativa aos métodos convencionais. Muitas vezes esse tipo de extração requer menos solvente, menor tempo de extração e apresenta maior rendimento de extração, além de minimizar a degradação de compostos termos sensíveis (Fu *et al.*, 2021). Esse método é descrito como eficiente, economicamente viável, fácil de operar e amplamente aplicável, mesmo que seu aumento de escala apresente vários desafios (Filho *et al.*, 2021).

A onda ultrassônica pode causar a alteração estrutural interna das matrizes alimentares. Portanto, esse processo facilita a liberação de compostos bioativos das matrizes vegetais após o rompimento celular. A extração assistida por ultrassom requer uma energia adicional de ultrassom para criar bolhas de cavitação que produzem efeitos mecânicos e térmicos nas células vegetais. A quebra da parede celular libera compostos bioativos no meio solvente por difusão e/ou dissolução. Assim, compostos bioativos são extraídos de células vegetais na presença de gradiente de transferência de massa. O ultrassom com frequência acima de 20 kHz é comumente utilizado por pesquisadores na extração de compostos bioativos de plantas (Nie *et al.*, 2021; Qian *et al.*, 2020; Yusoff *et al.*, 2022).

O método de extração assistida por ultrassom pode ser realizado por equipamento como a sonda, que age diretamente em contato com a amostra, ou como banho ultrassônico, que é um método indireto, uma vez que as ondas irão ser propagadas através do recipiente da amostra (Chemat *et al.*, 2017).

Buscando melhorar a eficiência do processo de extração, vários pesquisadores têm reportado a utilização de ultrassom para extração de compostos bioativos a partir de matrizes vegetais. No estudo de Silva; Nunes; Hoskin (2023) sobre a extração assistida por ultrassom dos polifenóis do bagaço de acerola e jambolão, verificou-se que a combinação de ultrassom e agitação mecânica melhorou as taxas de extração de polifenóis à base de água com consumo de energia reduzido, obtendo resultado positivo em comparação a outros métodos analisados. Já para os frutos de feijoa foi atestado que a potência ultrassônica contribuiu com valores satisfatórios de compostos fenólicos totais e antioxidantes, devido ondas aumentam a permeação do solvente no interior da amostra (Gambin *et al.*, 2023). Em um outro estudo, a extração com etanol assistida por ultrassom extraiu eficientemente

carotenoides de cascas de frutos de pupunha sem alterar o perfil qualitativo dos carotenoides, se mostrando um método eficiente (Menezes Silva *et al.*, 2023).

A combinação de técnicas também é amplamente utilizada para extração de compostos bioativos, como por exemplo a extração assistida por enzimas. Existe uma ampla gama de fitoquímicos no tecido vegetal, e alguns deles estão ligados a polissacarídeos ou lignina e não podem ser extraídos usando uma etapa de um procedimento comum. O tratamento enzimático antes da extração aumenta o rendimento pela liberação de componentes ligados. Algumas enzimas comuns usadas para a extração de bioativos incluem celulase, α -amilase, β -glicosidase, xilanase, β -glucanase, pectinase e outras enzimas relacionadas (Marathe *et al.*, 2019; Yusoff *et al.*, 2022).

As enzimas degradam os componentes da parede celular e permitem a liberação do composto de interesse. A interação entre a enzima e o substrato decide a extensão da hidrólise dessas barreiras. Portanto, uma compreensão da estrutura básica da parede celular do material de origem pode ajudar na formulação da mistura enzimática ideal (Sowbhagya e Chitra, 2010).

De acordo com Saeed; Ahmed; Mushtaq (2022), a combinação de extração assistida por enzimas e ultrassom, além de eficiente e ecologicamente correta, fornece uma estratégia eficiente para a extração de compostos bioativos. No estudo realizado por Durmus; Kilic-Akyilmaz (2023), os tratamentos com ultrassom e enzimas produziram maiores quantidades de fenólicos não extraíveis em comparação com o tratamento térmico da casca do limão. Wang *et al.* (2023) observaram que as concentrações e atividades antioxidantes dos extratos da casca de laranja estão fortemente correlacionadas com o procedimento de extração dos compostos. Concluíram que a combinação do método de extração enzimática e por ultrassom são promissores para alcançar a recuperação de antioxidantes naturais com valor agregado.

Em outro estudo avaliando a bioatividade de fenólicos não extraíveis da casca de limão, observou-se que os tratamentos que utilizaram o método de extração enzimática assistida por ultrassom apresentaram maiores quantidades desses fenólicos não extraíveis em comparação com os outros métodos de extração. O tratamento enzimático foi o mais eficaz contribuindo na liberação de compostos fenólicos não extraíveis da casca de limão (Durmus e Kilic-Akyilmaz, 2023a).

As combinações dos métodos de extração são consideradas importantes nos procedimentos analíticos para dar seguimento a diferentes estudos e no desenvolvimento subsequente do produto. Entretanto, para que um determinado composto seja considerado efetivo no organismo humano, é de grande importância que ele esteja acessível e consiga ser absorvido através de diversos mecanismos ao longo do trato gastrointestinal. O conhecimento dos mecanismos envolvidos nos processos de liberação, absorção e excreção são fundamentais para determinar seus efeitos biológicos no organismo humano (Alvarez-Suarez *et al.*, 2021). Ou seja, conhecer a bioacessibilidade é fundamental para descobrir a atuação desses compostos.

5. BIOACESSIBILIDADE *IN VITRO*

A ingestão e absorção de ingredientes bioativos, como compostos fenólicos, pode ser dividida em várias etapas, incluindo a liberação do ingrediente ativo, absorção gastrointestinal e efeitos metabólicos, que proporcionam benefícios à saúde dos seres humanos (Ribas-Agustí *et al.*, 2018). A bioacessibilidade é definida como a quantidade de um componente que é liberado da matriz alimentar para o trato gastrointestinal e, portanto, disponível para absorção. Enquanto isso, a biodisponibilidade é a porção dos nutrientes digeridos ou fitoquímicos que são então absorvidos e metabolizados por vias normais e normalmente é medida por métodos *in vivo* (Barba *et al.*, 2017).

A bioacessibilidade e a biodisponibilidade dos compostos bioativos dependem dos efeitos da matriz alimentar, bem como da natureza de qualquer condição de processamento de alimentos utilizada. Por exemplo, a ingestão de compostos hidrofóbicos com lipídios normalmente melhora sua bioacessibilidade ao promover sua solubilização e transporte nos fluidos gastrointestinais. Por outro lado, a ingestão de bioativos com fibras alimentares pode inibir sua liberação da matriz alimentar, reduzindo assim sua bioacessibilidade devido a interação entre os compostos e a matriz fibrosa (Hu *et al.*, 2023; Monfoulet *et al.*, 2020; Yao *et al.*, 2021).

As interações na matriz alimentícia entre fenólicos – macromoléculas (carboidratos, proteínas, lipídios) e fenólicos – micromoléculas (minerais, vitaminas e polifenóis) impactam a bioacessibilidade desses compostos fenólicos *in vivo* em vários estudos. Estudos *in vivo* fornecem informações mais

específicas sobre a biodisponibilidade de fito nutrientes, mas esses estudos envolvem mais custos, mais tempo e têm restrições éticas e dificuldades na interpretação dos dados. Os estudos em animais são geralmente mais baratos do que os estudos em humanos, mas as principais desvantagens são as diferenças no metabolismo entre animais e humanos, dificultando a interpretação dos resultados (Tan, Zhou e McClements, 2022; Thakur *et al.*, 2020; Yang *et al.*, 2022).

Modelos de digestão *in vitro* são significativos e amplamente utilizados para medir a bioacessibilidade de compostos, devido ao seu custo relativamente baixo, facilidade de uso e repetibilidade. Estudos *in vitro* foram desenvolvidos para simular as condições fisiológicas e a sequência de eventos que ocorrem durante a digestão no trato gastrointestinal humano. As principais características dos métodos gastrointestinais *in vitro* são temperatura, agitação e a composição química e enzimática da saliva, suco gástrico, suco duodenal e suco biliar. Esse método é chamado de modelo estático ou bioquímico. Os modelos dinâmicos mimetizam os processos físicos *in vivo* e levam em consideração novas variáveis, como mudanças na viscosidade da digestão, redução do tamanho das partículas, difusão e partição de nutrientes (Fernández-García, Carvajal-Lérida e Pérez-Gálvez, 2009; Wittsiepe *et al.*, 2001).

O método proposto por Minekus *et al.* (2014) é o conjunto de revisão de vários estudos reportados em trabalhos de digestão gastrointestinal dos alimentos, com uma junção comum de todos os ensaios. Desse modo, definiram a importância da utilização das enzimas em condições que se assemelham a fisiologia humana, ou seja, em pH que simule o pH humano em cada etapa da reação e não em seu pH ótimo de atividade, buscando simular os processos que ocorreriam *in vivo*. Sendo assim, o método de digestão padronizada foi estabelecido e contempla as 3 fases da digestão sendo oral, gástrica e intestinal. Em alguns modelos, também é incluído um estágio de cólon, que contém microrganismos que fermentam resultante do trato digestivo (Hu *et al.*, 2023).

Diferentes matrizes alimentares já foram estudadas através da metodologia de digestão *in vitro*. De Paulo Farias *et al.* (2021) avaliaram o efeito da digestão *in vitro* na bioacessibilidade e bioatividade de compostos fenólicos em frações de uvaia, indicando que o teor de compostos fenólicos e a capacidade antioxidante foram maiores na semente de uvaia, e a bioacessibilidade dos compostos bioativos dessa fruta foi dependente da fração e da fase digestiva avaliada. No estudo de Durán-

Castañeda *et al.* (2023) que avaliaram a bioacessibilidade de compostos fenólicos em variedades da espécie de goiaba (*Psidium guajava* L.) e a goiaba da Costa Rica (*Psidium friedrichsthalianum* Nied.), verificaram que os perfis de compostos fenólicos apresentaram diferenças significativas entre as espécies, e após a digestão gastrointestinal foi observado que a fração intestinal da espécie *Psidium friedrichsthalianum* Nied apresentou maior teor desses compostos fenólicos. Porém, a espécie *Psidium guajava* L. foi a que apresentou maior bioacessibilidade. Já no estudo da bioacessibilidade dos polifenóis da casca de romã, Mall; Patel (2023) observaram redução do teor de compostos fenólicos e flavonoides durante a fase intestinal. Ao contrário da atividade antioxidante, na fase intestinal, as atividades de eliminação de DPPH e ABTS aumentaram significativamente em comparação com o extrato controle. Este aumento na atividade antioxidante pode ser atribuído a uma maior liberação de moléculas bioativas com atividades de eliminação da matriz da casca de romã, devido às condições ácidas da digestão gástrica.

Conhecer a biodisponibilidade e bioacessibilidade dos polifenóis e compostos bioativos é um importante passo para verificação das propriedades que permanecem disponíveis durante e após a digestão gastrointestinal. Torna-se relevante avaliar no processo de digestão simulada *in vitro* as modificações que ocorrem com as propriedades bioativas e os compostos fenólicos e minerais do resíduo de caju do Cerrado.

CAPÍTULO 2

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA, PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS E OTIMIZAÇÃO DA EXTRAÇÃO ENZIMÁTICA DE COMPOSTOS FENÓLICOS DO RESÍDUO DO CAJU DO CERRADO (*Anacardium Othonianum* Rizz.)

RESUMO

O resíduo do caju do Cerrado da espécie *Anacardium othonianum* Rizz é o principal subproduto do processamento do caju. O objetivo deste estudo foi investigar a diferença entre a composição química, físico-química e tecnológica dos resíduos de caju do Cerrado de diferentes cores, amarelo, laranja e vermelho, além de otimizar a extração enzimática dos compostos fenólicos destes resíduos. Ambas as amostras apresentaram teores consideráveis de fibra alimentar total (42,27;46,01 e 46,85 g/100), além de elevados teores para vitamina C (72,62; 78,65 e 87,44 mg/100g). A amostra RCV foi a que mais se destacou para fenólicos totais (10,29 mg EAG/g), flavonoides (0,92 mg EQ/g) e capacidade antioxidante pelos métodos de ABTS, FRAP e DPPH (31,45; 12,24; 26,10 $\mu\text{mol Eq. Trolox /g}$) respectivamente. Já para os carotenoides, a amostra RCA apresentou maior valor (63,80 $\mu\text{g/g}$). Em relação as propriedades tecnológicas, não foi observada diferença significativa ($p > 0,05$) para as análises. As micrografias eletrônicas de varredura (MEV) mostram estruturas em forma de haste vertical e presença de grânulos redondos, sendo um indicativo da presença de fibras e grânulos de amido respectivamente. Potássio e ferro foram os principais macro e microelementos encontrados nos resíduos e diferenças significativas foram observadas no perfil das amostras. Os monossacarídeos mais predominantes nas amostras foram a glicose (52,7-60,6 mol %) e o ácido urônico (12,5-14,5% mol). O planejamento fatorial completo de três níveis permitiu a otimização do pH, tempo e temperatura de extração, levando a uma extração ideal de polifenóis em pH 5,5, tempo de extração de 120 min e temperatura de 55° C. Os principais polifenóis encontrados nas amostras foram miricetina (43,03-44,26 mg/kg), ácido vanílico (30,96-32,32 mg/kg) e ácido gálico (11,34-29,25 mg/kg). Os resultados deste estudo confirmaram que todas as amostras de resíduo do pedúnculo do caju do Cerrado são fontes potenciais de fitoquímicos para aplicação em desenvolvimento de novos produtos alimentares sustentáveis e funcionais.

Palavras-chave: subproduto de frutas, *Anacardium othonianum* Rizz., extração assistida por enzimas, propriedades tecnológicas.

ABSTRACT

Cerrado cashew residue from the species *Anacardium othonianum* Rizz is the main by-product of cashew processing. The objective of this study was to investigate the difference between the chemical, physical-chemical and technological composition of Cerrado cashew residues of different colors, yellow (RCA), orange (RCL) and red (RCV), in addition to optimizing the enzymatic extraction of phenolic compounds from these residues. Both samples presented considerable levels of total fiber (42.27; 46.01 and 46.85 g/100), in addition to high levels of vitamin C (72.62; 78.65 and 87.44 mg/100g). The RCV sample was the one that stood out most for total phenolics (10.29 mg EAG/g), flavonoids (0.92 mg EQ/g) and antioxidant capacity by the ABTS, FRAP and DPPH methods (31.45; 12.24; 26.10 $\mu\text{mol Trolox Eq. /g}$) respectively. As for carotenoids, the RCA sample showed the highest value (63.80 $\mu\text{g/g}$). Regarding technological properties, no significant difference was observed ($p > 0.05$) for most analyses. Scanning electron micrographs (SEM) show vertical rod-shaped structures and the presence of round granules, indicative of the presence of fibers and starch granules respectively. Potassium and iron were the main macro and microelements found in the waste and significant differences were observed in the profile of the samples. The most predominant monosaccharides in the samples were glucose (52.7-60.6 mol%) and uronic acid (12.5-14.5 mol%). The full factorial design of three levels allowed the optimization of pH, extraction time and temperature, leading to an ideal extraction of polyphenols at pH 5.5, extraction time of 120 min and temperature of 55° C. The main polyphenols found in samples were myricetin (43.03-44.26 mg/kg), vanillic acid (30.96-32.32 mg/kg) and gallic acid (11.34-29.25 mg/kg). The results of this study confirmed that all samples of Cerrado cashew stalk residue are potential sources of phytochemicals for application in the development of new sustainable and functional food products.

Keywords: fruit by-product, *Anacardium othonianum* Rizz., enzyme-assisted extraction, technological properties.

1. INTRODUÇÃO

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, ocupando em torno de 2.036.448 km² do território do país. Dentre as espécies de frutas nativas encontradas no Cerrado, se destaca o *Anacardium othonianum* Rizzini, popularmente conhecido como cajuzinho do Cerrado. O fruto é formado por duas partes: o pedúnculo do caju (hipocarpo) e a castanha de caju (Oliveira *et al.*, 2019). O pseudofruto é a parte macia e suculenta, cuja casca pode ser amarela, laranja ou vermelha. Devido a suculência e ao seu gosto ácido, a polpa deste caju tem potencial para aplicação comercial, além de serem utilizados como matéria prima no preparo de polpas congeladas, sucos, sorvetes, doces e licores (Santana *et al.*, 2020; Schweiggert *et al.*, 2016). O processamento de polpas e sucos congelados produz uma grande quantidade de resíduos sólidos, que são perecíveis pelo elevado teor de umidade.

As diferentes cores do caju da espécie *A. othonianum* podem indicar variações em suas composições químicas, propriedades nutricionais e tecnológicas, embora sejam a mesma espécie, com o mesmo grau de maturação do fruto. Até o presente momento não existe nenhum relato na literatura sobre a composição química do resíduo dessa espécie, referente a cada uma de suas três cores. Sendo assim, é de grande relevância a caracterização físico-química, avaliação do teor de compostos bioativos e análise das propriedades tecnológicas dos resíduos destes frutos.

Em relação à extração dos compostos fenólicos, embora a extração com solventes seja mais eficiente, o uso desses produtos químicos apresenta uma série de desvantagens, como toxicidade ao meio ambiente e aos manipuladores, além da baixa seletividade de extração de compostos termolábeis (Gligor *et al.*, 2019). Além disso, vários carboidratos complexos, como celulose, hemicelulose, amido e pectina, encontrados na parede celular vegetal como barreira, reduzem a eficiência da extração em processos convencionais (Acosta-Estrada, Gutiérrez-Urbe e Serna-Saldívar, 2014). A extração assistida por enzimas pode ser utilizada como uma alternativa para os métodos convencionais, uma vez que a hidrólise dos componentes da parede celular vegetal por enzimas hidrolisantes de carboidratos leva a lixiviação de componentes intracelulares, que conseqüentemente eleva o teor da taxa de extração, reduzindo o consumo de tempo e energia e assim minimizando os riscos ambientais. Nesse sentido, diversas pesquisas têm sido realizadas com base em extrações verdes, usando auxiliares de extração de solventes aquosos, dentre eles

extração assistida por ultrassom (Wen *et al.*, 2018) e também extração assistida por enzimas (EAE) (Domínguez-Rodríguez, Marina e Plaza, 2022; González *et al.*, 2022). Esses métodos são considerados promissores para aplicações industriais, já que os extratos vegetais obtidos por meio destes métodos possuem uma série de bioatividades, podendo ser uma fonte rentável para a indústria farmacêutica, alimentícia, cosmética e têxtil, na forma de fibras dietéticas, proteínas, óleos essenciais, pigmentos e polifenóis (Das, Nadar e Rathod, 2021).

Este trabalho teve como objetivo investigar a diferença entre as composições químicas dos resíduos de caju do Cerrado amarelo, laranja e vermelho, baseando-se na composição de monossacarídeos, minerais e fenólicos, além de otimizar a extração assistida por enzimas dos compostos fenólicos destes resíduos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. PROCESSAMENTO DE SUCOS E AMOSTRAS DO RESÍDUO DE CAJU

Os frutos de caju da espécie *Anacardium othonianum* Rizz. de coloração amarelo, laranja e vermelho foram coletados separadamente de árvores nativas do bioma Cerrado na região de Montes Claros de Goiás, GO, Brasil (S16°06'20" S e W51°17'11"). Esses frutos foram coletados em 33 acessos diferentes (11 para cada uma das três cores diferentes) em 2018, na época recomendada para colheita (setembro a outubro). A quantidade média dos frutos coletada por acesso foi de aproximadamente 300 g, totalizando cerca de 3,3 kg para cada amostra. Os frutos de caju de coloração amarelo, laranja e vermelho foram processados separadamente por cor. Os caju foram sanitizados (6 mL/L de PuryVitta®, 0,96% p/p de cloro ativo por 15 min) e armazenados em ultracongelador (modelo CL580-86V, ColdLab, São Paulo, SP, Brasil) a -80 ° C. Após o descongelamento do pedúnculo, foi utilizado um liquidificador industrial (modelo LS-08MB-N, Skymesen, Santa Catarina, Brasil) para extração e depois um tecido de poliamida para separação manual do suco e obtenção dos resíduos sólidos das amostras (Figura 1 a-c), que foram congelados a -80 °C e liofilizados (modelo Enterprise II, Terroni, São Paulo, SP, Brasil) por um período de 24 horas. As amostras de resíduos liofilizadas foram moídas em moinho de facas (10 mesh) (R-TE-648, Tecnal, São Paulo, SP, Brasil) e armazenados a -22 °C até a análise. Todas as análises foram realizadas com as amostras liofilizadas.

Figura 1 – Aspecto visual das amostras. Fruto de caju amarelo (a), laranja (b), vermelho (c), resíduo obtido do processamento do suco de caju amarelo (d), laranja (e) e vermelho (f).



2.2. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

As amostras foram analisadas quanto aos teores de umidade, cinzas, lipídeos, proteínas, carboidratos, pH, sólidos solúveis totais (SST), acidez titulável (AT) e vitamina C, que foram determinados de acordo com os métodos da AOAC (AOAC, 2012). As análises de fibra alimentar total, solúveis e insolúveis foram realizadas usando um kit enzimático (Megazyme International Ireland Ltd., Bray, Irlanda) (AACCI, 2010). A extração de pectina foi baseada na metodologia descrita por Kliemann et al. (2009). Todas as análises foram realizadas em triplicata.

2.2.1. Composição mineral

A composição mineral das amostras foi determinada usando um espectrômetro de absorção atômica de chama (FAAS) (Analyst 200, PerkinElmer, Waltham, EUA). A análise espectrométrica foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Malavolta; Vitti; Oliveira, (1997), em triplicata. Boro e P foram

determinados em um espectrômetro Femto 600 Plus (São Paulo, SP, Brasil). Os elementos P, K, Ca, Mg, e S foram expressos em mg/g e B, Cu, Fe, Mn e Zn foram expressos em ($\mu\text{g/g}$). Os resultados foram expressos em base seca.

2.2.2. Composição de monossacarídeos

A composição monossacarídica neutra foi determinada através da hidrólise total das amostras com ácido sulfúrico 72% (p/p) por 1 h em banho de gelo, seguida da diluição desta solução para 8% (p/p) com água destilada a 100 °C por 8 h. O ácido foi neutralizado com carbonato de bário e o sal resultante foi removido por filtração. A solução filtrada foi submetida a redução com borohidreto de sódio por 16 h a 4 °C. Posteriormente uma resina catiônica fortemente ácida Lewatit® MonoPlus S 100 (Supelco, St. Louis, MO, EUA) ⁺ foi adicionada para remover íons Na⁺. Após a remoção da resina, o solvente foi evaporado sob vácuo a 50 °C. A amostra foi tratada (três vezes) com metanol (1 mL) e o borato de metila resultante foi evaporado a vácuo a 50 °C. Os alditóis foram acetilados usando anidrido acético (0,5mL) e piridina (0,5mL) por 12 h a 25 °C. Os acetatos de alditol resultantes foram solubilizados em clorofórmio e a piridina foi removida por tratamentos com sulfato de cobre a 5% e água destilada.

Os acetatos de alditol foram analisados em um cromatógrafo a gás modelo Trace GC ultra (Thermo Fischer Scientific, Waltham, MA, EUA), equipado com detector de ionização de chama, um injetor Ross e uma coluna capilar DB-225 (30m x 0,25mm, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, EUA), com espessura de filme 0,25 μm . As temperaturas do injetor e do detector foram de 250 a 300 °C, respectivamente. A temperatura do forno foi programada de 100 a 220 °C a uma taxa de 60 °C/min. Uma mistura de hélio e nitrogênio (10:1 v/v) foi usada como gás de arraste a uma vazão de 1,0 mL/min. Os acetatos de alditol foram identificados por seus tempos de retenção em comparação com os padrões neutros de monossacarídeos.

Os teores de ácidos urônicos foram quantificados pelo método colorimétrico m-hidroxidifenil após hidrólise prévia (Blumenkrantz e Asboe-Hansen, 1973; Melton e Smith, 2001). A absorbância foi medida em um espectrofotômetro (modelo SP-2000 UV, Shangai Spectrum Instruments Co. Ltd., Shangai, China) a 520 nm. A curva de calibração foi preparada com ácido galacturônico com uma faixa de trabalho linear de 10 a 100 $\mu\text{g/mL}$. Todas as determinações foram realizadas em triplicata e os resultados fora expressos em base seca.

2.2.3. Determinação de compostos bioativos e capacidade antioxidante *in vitro*

O preparo do extrato para as análises de compostos fenólicos totais, e atividade antioxidante foi realizado segundo a metodologia de Larrauri et al. (1996), com modificações. Foram utilizados 2 g do resíduo de caju liofilizado, adicionados 40 mL de metanol a 50% e então homogeneizados e mantidos a temperatura ambiente por 60 minutos em repouso. A mistura foi filtrada e o sobrenadante foi misturado com 40 mL de acetona a 70% e mantidos em repouso novamente a temperatura ambiente por 60 minutos. Após a filtração, os líquidos foram misturados, e o volume foi ajustado para 100 mL com água destilada.

O teor de fenólicos totais foi determinado pelo ensaio de Folin-Ciocalteu (Singleton; Rossi, 1965) e os resultados foram expressos em mg equivalente de ácido gálico (EAG) por g de amostra em base seca. Os flavonoides foram determinados de acordo com Subhasree *et al.* (2009) e os resultados foram expressos em mg de equivalentes de quercetina por g de amostra em base seca. As antocianinas monoméricas totais foram determinadas de acordo com Giusti, e Wrolstad (2001) e os resultados foram expressos em mg/g de cianidina-3-glicosídeo em base seca. O teor de carotenoides totais foi determinado através da metodologia proposta por Davies (1976) e os resultados foram expressos em μg de beta-caroteno por g de amostra seca. A capacidade antioxidante foi expressa usando diferentes métodos, incluindo métodos de eliminação de radicais livres ABTS [2,2'-azino-bis (ácido 3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico)] (Miller *et al.*, 1993) e DPPH (2,2 -difetil-1-picrilhidrazil) (Brand-Williams, Cuvelier e Berset, 1995), e o método de poder antioxidante de redução de íon férrico (FRAP) (Benzie e Strain, 1996), com leituras de absorvância em 754 nm, 517 nm e 620 nm, respectivamente. Os resultados foram expressos em μmol (atividade antioxidante equivalente Trolox) por g de amostra em base seca. Todas as análises foram realizadas em triplicata em um espectrofotômetro UV-VIS (Metash 5100, Shanghai, China).

2.2.4. Otimização da extração assistida por enzimas

Para o preparo dos extratos, 1 g de amostra liofilizada foi misturada com água destilada em uma proporção de 1:25 (p/v), e a mistura foi submetida a um pré-tratamento por ultrassom por 30 min. Após a etapa de pré-tratamento, foram adicionados 20 µl de complexo enzimático (contendo uma ampla gama de enzima hidrolisantes de carboidratos, incluindo arabanase, celulase, β-glucanase, hemicelulase e xilanase) (Viscozyme® L, V2010, 100 FBGU/g - Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, EUA)). A extração enzimática foi realizada em banho maria a 60 °C por 120 min, com pH ajustado para 5,5. As condições de temperatura, tempo e pH foram previamente otimizadas através de um planejamento composto central (Tabela 1). Finalmente, a amostra foi centrifugada (Hermle, Z200A, Berlin, BE, Germany) a 3000 x g por 5 min, e o sobrenadante foi coletado para posterior análise por LC-MS/MS. Todas as determinações foram realizadas em triplicata, e os resultados expressos em base seca.

Tabela 1 – Matriz de Planejamento do Planejamento Composto Central para otimização de pH, temperatura e tempo na extração de polifenóis do resíduo de caju do Cerrado.

Experimento	pH	Temperatura (°C)	Tempo (min)
1	3,5	40,0	60
2	3,5	40,0	120
3	3,5	60,0	60
4	3,5	60,0	120
5	5,5	40,0	60
6	5,5	40,0	120
7	5,5	60,0	60
8	5,5	60,0	120
9	2,8	50,0	90
10	6,2	50,0	90
11	4,5	33,2	90
12	4,5	66,8	90
13	4,5	50,0	40
14	4,5	50,0	140
15	4,5	50,0	90
16	4,5	50,0	90
17	4,5	50,0	90

2.2.5. Determinação dos polifenóis individuais

Os polifenóis individuais foram analisados em um cromatógrafo líquido (1200 Series, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, EUA) acoplado a um espectrômetro de massa triplo quadrupolo (G6420A, Agilent Technologies) equipado com uma interface de ionização por eletrospray (ESI). A fonte operava no íon modo negativo. A separação dos polifenóis foi realizada em um modelo de coluna C18 (2,1 x 50 mm, 1,8 μ m) zorbax (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, EUA). Um gradiente de eluição usando 0,350 mL/min de fase móvel (água e metanol) foi empregado na análise cromatográfica começando em 2:98 v/v metanol :água para os primeiros 0,5 min; de 0,5 a 5 min, o metanol foi aumentado para 85 % e mantido nesta proporção até o final da análise (9,5 min). O volume de injeção foi de 5 μ L e a temperatura da coluna foi mantida a 30 °C. A quantificação dos quinze analitos obtidos neste estudo foi realizada usando curvas de calibração. A faixa de trabalho linear de ácido gálico, ácido protocatecuico, catequina, epicatequina, ácido clorogênico, epigallocatequina, ácido siríngico, ácido p-cumárico, ácido ferúlico e miricetina foi de 0,01 a 15 mg/L, e ácido vanílico, rutina, ácido elágico, miricetina, quercentina e kaempferol foi de 0,01 a 10 mg/L.

2.2.6. Propriedades tecnológicas e parâmetros de cor

As propriedades tecnológicas de capacidade de retenção de água (CRA), capacidade de retenção de óleo (CRO), índice de solubilidade em água (IS) e capacidade de intumescimento (CI) foram determinadas de acordo com (WANG *et al.*, 2015) com pequenas modificações propostas por Resende; Franca; Oliveira, 2019a).

A análise de cor foi determinada em um espectrofotômetro DELTA COLOR 450G (Delta Vista, Delta Color 450G, São Leopoldo, RS, Brasil). A escala de cor CIELab foi usada para medir os parâmetros L^* , a^* e b^* . Na escala CIELab, o parâmetro L^* varia de 0 a 100, indicando uma variação de cor do preto ao branco. O parâmetro a^* mostra a variação do vermelho (+ a^*) ao verde (- a^*), enquanto o b^* pode variar do amarelo (+ b^*) ao azul (- b^*).

2.2.7. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

As microestruturas das amostras do resíduo de caju foram investigadas em um microscópio eletrônico de varredura JSM-6390LV (Jeol, EUA). As amostras foram fixadas em suportes de alumínio com fita dupla face e metalizadas com partículas de ouro (350 Å) sob alto vácuo usando um E5000 Sputter Coater (Polaron, Austrália) e analisadas por microscopia de varredura sob aumento de 50 x e 1500 x. O tamanho de partícula e as micrografias foram obtidos usando o software IC Measure (The Imaging Source, Alemanha).

2.3. Análise estatística

A análise estatística foi realizada usando o software STATISTICA versão 13.0 (StatSoft Inc., Tulsa, OK, EUA). A análise de variância unidirecional e o teste de Tukey foram usados para comparar os dados químicos e avaliar as diferenças estatísticas ($p < 0,05$) entre os resíduos de caju de três cores diferentes. Os resultados foram expressos como média \pm desvio padrão. A análise de componentes principais (ACP) foi usada para mostrar o agrupamento das amostras, bem como suas principais características químicas associadas ao resíduo de caju de cores diferentes. A ACP também foi obtida no software STATISTICA versão 13.0 (StatSoft Inc., Tulsa, OK, EUA).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

Na tabela 2 estão apresentados os resultados obtidos nas análises físico-químicas das amostras do resíduo de caju amarelo, laranja e vermelho. No geral foram observadas diferenças significativas para cinzas, proteínas, lipídeos, carboidratos, acidez titulável e vitamina C entre as amostras. Em relação aos teores de umidade, não foi observada diferença significativa ($p > 0,05$) entre as amostras, e os valores estavam abaixo do mínimo recomendado (9 g/100g) para garantir uma melhor conservação do produto durante o armazenamento (Soquetta *et al.*, 2016).

O teor de cinzas foi maior ($p < 0,05$) para a amostra RCV em comparação com a amostra RCA, enquanto o teor de proteína da amostra RCL foi maior que o da amostra RCV. Esses resultados estão de acordo com os valores encontrados para cinzas (1,8 g/100g) e de proteínas (12,3 g/100g) também em base seca (b.s) para a fibra do caju (*Anacardium occidentale* L.) (Carvalho, D. V. *et al.*, 2018). Em relação ao teor de lipídeos, os resultados foram maiores do que os encontrados para o pó do resíduo do pedúnculo de caju (*Anacardium occidentale* L.), 0,85g/100g (b.s) (Amaral *et al.*, 2020).

A amostra RCL apresentou maior teor de pectina do que a amostra RCV. Os valores de pectina são próximos aos valores encontrados para cascas de kiwi (8,03 g/100g), laranja (11,46 g/100g) e maçã (13,30 g/100g) (b.s) (Güzel e Akpınar, 2019).

Para a fibra alimentar total, os valores foram superiores aos encontrados em outros resíduos de frutas, como a casca da manga (40,51 g/100g), e próximos aos valores da farinha da casca do pequi (43,32 g/100g) (b.s) (Tejada-Ortigoza *et al.*, 2017; Soquetta *et al.*, 2016; Leão *et al.*, 2017). De acordo com veronese *et al.*, (2018), a ingestão elevada de fibras contribui para uma alimentação saudável, além de ajudar a reduzir os riscos de várias doenças crônicas, cardiovasculares, obesidade e diabetes. Para as fibras insolúveis, os resultados foram similares aos teores de fibras insolúveis da casca de pêra espinhosa com 38,13 g/100g (b.s), (Tejada-Ortigoza *et al.*, 2017). Em relação às fibras solúveis foi observada diferença significativa ($p < 0,05$) entre as amostras, com maior valor para RCL (10,87 g/100g) e menor teor de fibra para a amostra RCV (7,21 g/100g), corroborando com os resultados obtidos para pectina. Esses resultados de fibras solúveis são maiores quando comparados com a casca da banana (6,20 g/100g) e a casca de abacaxi (5,25 g/100g) (b.s) (Fortes *et al.*, 2020). Independentemente da cor, o resíduo de caju do Cerrado tem potencial para ser utilizado na indústria alimentícia como uma importante fonte de fibra dietética. A Organização Mundial da Saúde (OMS) recomenda a ingestão diária de pelo menos 25 g de fibra dietética. A utilização do resíduo de caju como ingrediente alimentar ajuda a contribuir para um maior consumo de fibra dietética e assim diminuindo os riscos de várias doenças, dentre elas arteriais e câncer (Cheong *et al.*, 2022; Gill *et al.*, 2021).

O resíduo vermelho apresentou o maior valor ($p < 0,05$) de carboidratos (obtido por diferença), quando comparado às demais amostras, resultado similar ao obtido para a farinha do resíduo de kiwi maduro (41,31 g/100g) (b.s) (Soquetta *et al.*, 2016).

A amostra RCA apresentou o maior valor de acidez e o menor valor de pH ($p < 0,05$) quando comparada com às demais amostras, RCV e RCL. Os valores de acidez encontrados neste trabalho foram um pouco maiores que os encontrados para o pseudofruto de outras espécies de caju, com 0,50 g/100g (b.s) para *Anacardium humile* Mart (Singh *et al.*, 2019). Já em relação aos valores de pH, os resultados obtidos neste estudo foram menores do que os relatados para o resíduo de manga (4,19) e de laranja (4,45) (Tejada-Ortigoza *et al.*, 2017). Durante o processo de liofilização, devido a remoção da água, ocorre a concentração dos ácidos orgânicos, que pode ter contribuído para o aumento da acidez e diminuição do pH das amostras. Os teores de sólidos solúveis totais foram similares aos encontrados no resíduo do fruto araçá-boi (5,06 g/100g) (b.s) (Barros *et al.*, 2017) e de mirtilo e *cranberry*, ambos com 6 g/100 g (b.s) (Gouw, Jung e Zhao, 2017).

O resíduo de caju do Cerrado é uma fonte promissora de vitamina C, e a amostra RCA apresentou maior concentração dessa vitamina (87,44 mg/100), seguido pela amostra RCV (78,65 mg/100g) e a amostra RCL (72,72 mg/100g). (Preethi *et al.*, (2021) encontraram menor teor de vitamina C (65,25 mg/100g) em resíduo de caju da espécie *Anacardium occidentale*. Os teores de vitamina C dos resíduos de caju do Cerrado obtidos neste estudo são maiores do que os encontrados na literatura para o pseudofruto dessa mesma espécie *A. othonianum* Rizz. Alves *et al.*, (2017) obtiveram um valor de 43,9 mg/100g (b.u), enquanto no estudo de Alves; Alves; Naves, (2013) a média dos teores de vitamina C do pseudofruto de três regiões localizadas no estado de Goiás, obteve 5,48 mg/100g. Esses valores também são maiores do que o encontrado para o suco do pseudofruto da mesma espécie *A. othonianum*, com 30,65 mg/100g (Silva *et al.*, 2020). Os valores de vitamina C encontrados nesse resíduo são próximos aos estabelecidos como padrão de referência de ingestão diária recomendada para adultos (Institute of Medicine- IOM, 2000), um valor de 75 mg para mulheres e 90 mg para homens. Já de acordo com a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), por meio da Resolução RDC n°. 269 (Brasil, 2005), a ingestão diária recomendada (IDR) de vitamina C para adultos é de 45 mg. Sendo assim, pode-se considerar que o resíduo de caju do Cerrado contém quantidades significativas de vitamina C.

Tabela 2 – Caracterização físico-química dos resíduos de caju do Cerrado (*A. othonianum* Rizz.).

Análises	Amostras		
	RCA	RCL	RCV
Umidade (g/100g)	7,22 ± 0,11 ^a	7,05 ± 0,19 ^a	7,04 ± 0,06 ^a
Cinzas (g/100g)	1,20 ± 0,04 ^b	1,28 ± 0,08 ^{ab}	1,37 ± 0,03 ^a
Proteínas (g/100 g)	10,69 ± 0,05 ^{ab}	11,56 ± 0,47 ^a	9,92 ± 0,73 ^b
Carboidratos (g/100 g)	33,83 ± 0,21 ^c	35,37 ± 0,52 ^b	41,47 ± 0,78 ^a
Lipídios (g/100 g)	7,44 ± 0,20 ^a	5,79 ± 0,04 ^b	4,96 ± 0,01 ^c
Pectina (g/100 g)	14,13 ± 1,48 ^{ab}	16,47 ± 1,69 ^a	9,45 ± 1,13 ^b
Fibra total (g/100 g)	46,85 ± 0,84 ^a	46,01 ± 1,61 ^a	42,27 ± 1,38 ^a
Fibra Insolúvel (g/100 g)	38,40 ± 0,72 ^a	35,14 ± 1,34 ^a	35,07 ± 1,16 ^a
Fibra solúvel (g/100 g)	8,45 ± 0,12 ^b	10,87 ± 0,27 ^a	7,21 ± 0,22 ^c
Acidez (Ác. cítrico g/100g)	0,61 ± 0,01 ^a	0,56 ± 0,02 ^b	0,58 ± 0,01 ^b
Sólidos solúveis (°Brix)	5,07 ± 0,21 ^b	6,40 ± 0,20 ^a	5,13 ± 0,35 ^b
Vitamina C (mg/100g)	87,44 ± 4,77 ^a	72,62 ± 4,71 ^b	78,65 ± 5,05 ^{ab}
pH	3,63 ± 0,01 ^b	3,67 ± 0,01 ^a	3,68 ± 0,02 ^a

Resultados expressos em média ± DP em base seca (n=3). Letras diferentes na mesma linha indicam diferença estatística entre as amostras (p< 0,05). RCA: Resíduo de caju amarelo; RCL: Resíduo de caju laranja e RCV: Resíduo de caju vermelho.

3.2. PERFIL MINERAL DO RESÍDUO DE CAJU

O perfil mineral dos resíduos de caju está apresentado na tabela 3. Não foram observadas diferenças significativas (p>0,05) para a maioria dos minerais investigados. Os resultados obtidos sugerem que, independentemente da sua cor, o consumo diário do resíduo do caju do Cerrado pode contribuir para a ingestão diária recomendada de alguns minerais nutricionalmente importantes, como o K, P, Fe, Cu e Mg.

O resíduo do caju do Cerrado apresentou maiores teores de K, seguido pelo Ca. Porém, em comparação com outros estudos, os níveis de potássio nas amostras foram mais baixos que os relatados para farinhas da casca de feijoa (8,0 mg/g)

(Almeida *et al.*, 2020) e o pó do bagaço de *Anacardium occidentale* L. (Preethi *et al.*, 2021). Potássio e Cálcio são macrominerais que são absorvidos do solo pelas plantas e estão presentes em altas concentrações em vários resíduos e subprodutos de frutas. Em relação à saúde humana, a ingestão de potássio tem como função contribuir no desempenho do controle da pressão arterial, assim como auxiliar no crescimento muscular (Gharibzahedi e Jafari, 2017).

Os teores de Fe e Cu foram maiores para a amostra RCV em comparação com as amostras RCA e RCL. Em relação ao cobre, as amostras RCV e RCA apresentaram altas concentrações em comparação com o resíduo de melão (4,56 µg/g) (Benmeziane, Boulekbache-Makhlouf e Mapelli-Brahm, 2018), e teores semelhantes em comparação com o bagaço do caju *Anacardium occidentale* de variedades colombianas (26,1 µg/g) (Reina *et al.*, 2022). O cobre é um elemento essencial e necessário, porém em quantidades muito pequenas na dieta humana. Este elemento atua como cofator de muitas enzimas redox e desempenha um papel importante no metabolismo do ferro, uma vez que a ceruloplasmina é uma ferroxidase que converte Fe²⁺ e Fe³⁺. A ingestão do Cu, também promove outros benefícios à saúde, como defesa antioxidante, síntese de neuropeptídeos e função imunológica (Bost *et al.*, 2016).

Os níveis de Fe na amostra RCV foram 30 e 33% maiores do que os encontrados para as amostras de RCA e RCL, respectivamente. Diante disso, é interessante notar que entre as amostras analisadas, a amostra RCV pode contribuir de forma mais significativa para a ingestão diária recomendada de Fe na dieta humana. A ingestão diária recomendada de ferro para adultos no Brasil é de 14 mg (Brasil, 2005), e para adultos nos EUA é de 18 mg (FDA, 2020). Quantidades semelhantes de ferro foram encontradas em outras frutas, como por exemplo em resíduo de frutas cítricas (Silva *et al.*, 2017) (116,4 µg/g), fruto de cagaita (*Eugenia dysenterica*) (115,3 µg/g) e fruto de coquinho azedo (*Butia capitata*) (14,7 µg/g) do Cerrado do norte de Minas Gerais (Nascimento *et al.*, 2020) e morango hidropônico (*Fragaria ananassa* L.) (140,9 µg/g) (Jeon *et al.*, 2019). O consumo de ferro é importante, já que é um mineral que participa de uma ampla variedade de processos metabólicos no corpo humano, incluindo transporte de oxigênio, síntese de ácido desoxirribonucleico (DNA) e transporte de elétrons (Abbaspour, Hurrell e Kelishadi, 2014).

O zinco está envolvido em diferentes processos biológicos, como a estabilização estrutural de várias proteínas enzimáticas e a manutenção de seu mecanismo catalítico, além de ser considerado um elemento que desempenha papéis importantes na divisão e no crescimento celular (Kumar *et al.*, 2022; Suganya, Saravanan e Manivannan, 2020). Os resultados encontrados para o resíduo de caju foram maiores do que os encontrados em bagaço de caju (*Anacardium occidentale*) de variedades colombianas (9,41 e 9,47 µg/g) (Reina *et al.*, 2022).

Tabela 3 – Perfil mineral e composição monossacarídica do resíduo de caju.

<u>Análises</u>	<u>Amostras</u>		
	<u>RCA</u>	<u>RCL</u>	<u>RCV</u>
<u>Macroelementos (mg/g)</u>			
P	1,60 ± 0,10 ^a	1,60 ± 0,10 ^a	1,70 ± 0,01 ^a
K	4,50 ± 0,44 ^b	5,67 ± 0,47 ^a	5,33 ± 0,23 ^{ab}
Ca	0,63 ± 0,15 ^a	1,17 ± 0,55 ^a	3,37 ± 2,55 ^a
Mg	0,40 ± 0,10 ^a	0,67 ± 0,29 ^a	0,70 ± 0,26 ^a
S	0,27 ± 0,06 ^a	0,43 ± 0,15 ^a	0,27 ± 0,06 ^a
<u>Microelementos (µg/g)</u>			
B	4,00 ± 1,00 ^a	4,67 ± 0,58 ^a	4,33 ± 1,15 ^a
Cu	21,67 ± 1,53 ^{ab}	19,33 ± 1,53 ^b	23,67 ± 1,53 ^a
Fe	146,67 ± 4,16 ^b	143,00 ± 4,58 ^b	191,33 ± 3,21 ^a
Mn	33,33 ± 2,89 ^a	33,00 ± 0,01 ^a	29,33 ± 1,15 ^a
Zn	12,00 ± 2,65 ^a	11,67 ± 0,58 ^a	11,00 ± 0,01 ^a
<u>Monossacarídeos (mol %)</u>			
Ramnose	0,7 ± 0,18 ^a	0,9 ± 0,12 ^a	0,9 ± 0,12 ^a
Fucose	0,4 ± 0,06 ^a	0,6 ± 0,12 ^a	0,4 ± 0,06 ^a
Arabinose	10,7 ± 0,89 ^a	11,0 ± 0,35 ^a	8,4 ± 0,91 ^a
Xilose	4,0 ± 0,26 ^a	5,3 ± 0,31 ^a	4,2 ± 0,30 ^a
Mannose	3,7 ± 0,36 ^a	3,8 ± 0,12 ^a	3,5 ± 0,18 ^a
Galactose	8,6 ± 0,22 ^b	11,2 ± 0,86 ^a	9,6 ± 0,14 ^{ab}
Glucose	58,9 ± 1,73 ^a	52,7 ± 0,86 ^b	60,6 ± 1,58 ^a
Ácido urônico	13,0 ± 0,28 ^b	14,5 ± 0,07 ^a	12,5 ± 0,14 ^b

Resultados expressos em média ± DP em base seca (n=3). Letras diferentes na mesma linha indicam diferença estatística entre as amostras (p< 0,05). RCA: Resíduo de caju amarelo; RCL: Resíduo de caju laranja e RCV: Resíduo de caju vermelho.

3.3. COMPOSIÇÃO DE MONOSSACARÍDICA

Na tabela 3 também estão apresentados os resultados da composição monossacarídica das amostras. Os monossacarídeos predominantes nas amostras

foram a glucose, ácidos urônicos, galactose, arabinose e xilose. As amostras RCA e RCV apresentaram maior teor de glucose do que a amostra RCL. Da mesma forma, a glucose também foi relatada como o principal monossacarídeo nas farinhas obtidas da casca de pequi (34,43%) (Leão *et al.*, 2017) e casca de feijoa (34,43%) (Almeida *et al.*, 2020).

Diferentes quantidades de ácido urônico foram observadas entre as amostras. O ácido urônico foi maior na seguinte ordem: RCL>RCA>RCV. Estes resultados seguem a mesma tendência do que os obtidos para pectina e fibra solúvel obtidos. Os teores de ácido urônico encontrados neste estudo foram maiores que os resultados relatados para a casca de feijoa (9-12%) (Almeida *et al.*, 2020) e a farinha da casca de cacau (6-7%) (Vriesmann, Teófilo e Petkowicz, 2012). Altas concentrações de arabinose e galactose foram encontrados no resíduo de caju do Cerrado. No entanto, não houve diferença significativa entre a concentração de arabinose das amostras de diferentes cores. A galactose e arabinose são os açúcares neutros mais comuns presentes nas cadeias laterais referentes ramnogalacturonan-I (RG-I) (Yu *et al.*, 2021).

5.1. COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS, BIOATIVOS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE *IN VITRO*

A Tabela 4 apresenta os resultados de fenólicos totais, flavonoides totais, antocianinas monoméricas totais e capacidade antioxidante *in vitro* dos resíduos de caju amarelo, laranja e vermelho.

Observou-se que a amostra RCV apresentou maior ($p < 0,05$) teor de polifenóis do que as amostras de RCL e RCA (Tabela 4). A literatura apresenta grande variabilidade na concentração de fenólicos no caju, devido diferenças no solo, condições climáticas, estação do ano, armazenamento pós-colheita, métodos de extração, metodologia usada para identificar compostos e a escolha do solvente. Em comparação com outros resíduos de frutas, os valores obtidos neste estudo foram similares aos encontrados por Resende; Franca; Oliveira, (2019) para casca de buriti, com teor de compostos fenólicos de 9,34 mg EAG/g (b.s) e superiores aos encontrados por Meneses *et al.*, (2018) para os resíduos desidratados da casca de manga, goiaba e acerola com valores de 3,33, 1,03 e 4,25 mg EAG/g (b.s), respectivamente. O mesmo comportamento foi observado para os flavonoides, com maiores valores para a amostra RCV (0,92 mg EQ/g), sendo esses resultados maiores

do que os encontrados em cascas de mangaba (*Hancornia speciosa*) com 0,18 mg EQ/g e seriguela (*Spondias purpurea*) com 0,13 mg EQ/g (Bramont *et al.*, 2018).

Tabela 4 – Teor de fenólicos totais, flavonoides, carotenoides, antocianinas e capacidade antioxidante pelos métodos de ABTS, FRAP e DPPH dos resíduos de caju do Cerrado (*A. othonianum* Rizz.).

Análises	Amostras		
	RCA	RCL	RCV
Fenólicos totais (mg EAG/g)	8,14 ± 0,02 ^c	8,38 ± 0,03 ^b	10,29 ± 0,03 ^a
Flavonóides (mg EQ/g)	0,83 ± 0,14 ^{ab}	0,67 ± 0,10 ^b	0,92 ± 0,03 ^a
Carotenoides (µg/g)	63,80 ± 3,09 ^a	48,90 ± 3,82 ^b	36,64 ± 3,77 ^c
Antocianinas (mg/g Cianidina-3-glicosídeo)	0,02 ± 0,01 ^b	0,09 ± 0,01 ^b	0,67 ± 0,01 ^a
ABTS (µmol Eq. Trolox /g)	26,12 ± 0,14 ^b	26,77 ± 0,22 ^b	31,45 ± 0,38 ^a
FRAP (µmol Eq. Trolox /g)	6,49 ± 0,06 ^b	6,16 ± 0,11 ^c	12,24 ± 0,08 ^a
DPPH (µmol Eq. Trolox /g)	23,55 ± 0,14 ^b	23,28 ± 0,22 ^b	26,10 ± 0,38 ^a

Resultados expressos em média ± DP em base seca (n=3). Letras diferentes na mesma linha indicam diferença estatística entre as amostras (p < 0,05). RCA: Resíduo de caju amarelo; RCL: Resíduo de caju laranja e RCV: Resíduo de caju vermelho. EAG: Equivalente de ácido gálico. EQ: Equivalente de quercetina.

Os teores de carotenoides encontrados no resíduo do caju foram diferentes (p < 0,05) para todas as amostras, sendo o RCA com maior teor, seguido do RCL e RCV. As quantidades de carotenoides encontradas em todas as amostras deste estudo foram maiores que as encontradas em subprodutos da casca do pequi (34,99 µg/g) (b.s) (Leão *et al.*, 2017) e na farinha do subproduto de buriti (10,40 µg/g) (b.s) (Resende; Franca; Oliveira, 2019). A amostra RCA também apresentou um teor de carotenoides maior do que encontrado no resíduo de acerola (23,9,3 µg/g) (b.s) (Magalhães *et al.*, 2021). Estes resíduos podem ser considerados fontes de carotenoides. Entretanto, vale ressaltar que para avaliar os efeitos favoráveis para a saúde é necessária a avaliação da bioacessibilidade e biodisponibilidade dos carotenoides.

Como esperado, as amostras de resíduo RCV apresentaram o maior teor de antocianinas, não sendo observada diferença significativa destes compostos entre as amostras RCL e RCA. As antocianinas são pigmentos solúveis em água que conferem

cores vermelha, azul e roxa às frutas, vegetais e bebidas (Rodriguez-Amaya, 2019). Os valores de antocianinas encontrados para os resíduos do caju do Cerrado foram inferiores aos encontrados para a casca de jabuticaba (2,84 mg/g (b.s)) (Mattos *et al.*, 2022). Porém, a amostra RCV apresentou um teor de antocianinas maior do que o encontrado no resíduo de caju (*Anacardium Occidentale* L.) (0,36 mg/g (b.s)) num estudo de (Andrade *et al.*, 2015).

A atividade antioxidante *in vitro* do resíduo de *A. othonianum* foi avaliada a partir dos mecanismos de captura de radicais livres e redução férrica, objetivando determinar o potencial desse resíduo. Foi possível estimar que a amostra RCV apresentou maior atividade antioxidante ($p < 0,05$) do que as amostras RCA e RCL para todos os métodos, DPPH, ABTS e FRAP. Na análise por ABTS, os valores de atividade antioxidante foram menores do que os relatados para o subproduto do processamento da polpa de caju (*Anacardium occidentale* L.), com 77 μM Trolox/g (b.u) (Amariz, Lima e Alves, 2018). Porém, os valores obtidos neste estudo são próximos aos encontrados para a casca do caju (*Anacardium occidentale*) de coloração amarelo (33,22 μM Trolox/g) e vermelho (30,50 μM Trolox/g) (b.s) (Moo-Huchin *et al.*, 2015).

Já os valores da atividade antioxidante *in vitro* avaliada por DPPH foram maiores que o encontrado para o pseudofruto de caju do Cerrado (*A. Othonianum* Rizz.) com 10 μM Trolox/g (b.s) no estudo de (ALVES *et al.*, 2017) e menores do que o encontrado para suco de *A. othonianum* Rizz. no estudo de Silva *et al.*, (2020), com 6600 μM Trolox/g (b.u). Os resultados obtidos também são próximos ao encontrado para cascas de laranja doce (*Citrus grandis* Osbeck), 24,00 μM Trolox/g no método DPPH (Chen *et al.*, 2020).

Os resultados da atividade antioxidante avaliada por FRAP foram maiores do que os encontrados para a farinha da casca do kiwi (*Actinidia deliciosa*) (4,0 μM Trolox/g) (b.s) (Soquetta *et al.*, 2016), porém, menores quando comparados com o pseudofruto de caju do Cerrado (*A. othonianum*) do estudo de Alves *et al.*, (2017), com 14 μM Trolox/g (b.s).

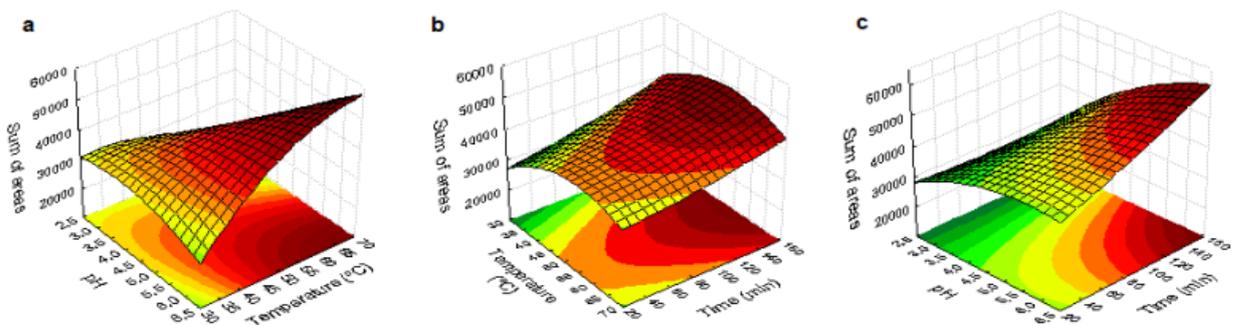
5.2. EFEITO DA EXTRAÇÃO ASSISTIDA POR ENZIMAS NO RENDIMENTO FENÓLICO

A significância dos fatores foi confirmada pelo teste ANOVA, confirmando que todos os fatores investigados foram significativos ($p < 0,05$). A superfície de resposta foi obtida através de um modelo matemático quadrático e mostrou o R^2 previsto e o R^2 ajustado com valores de 0,8834 e 0,9490, respectivamente.

Figura 2 (a, b e c) apresenta as superfícies de resposta obtidas para o delineamento composto central (DCC). Ao avaliar o pH e a temperatura (Figura 2-a), foi possível observar um aumento na resposta analítica em pH maior que 5,5 e temperatura maior que a 55 °C. Já em relação à temperatura e tempo de extração (Figura 2-b), foi possível notar um aumento na resposta analítica na temperatura próxima de 55 °C e tempo de extração superior a 120 min.

Em relação ao pH e ao tempo de extração (Figura 2-c), houve um aumento na resposta analítica em pH maior que 5,5 e o tempo de extração maior que 120 min. De acordo com as recomendações do fabricante do complexo enzimático, é desejável aplicar valores de pH entre 4 e 6 e temperaturas entre 40 e 55 °C. Devido a esses fatores, as condições de extração foram fixadas em pH 5,5 e temperatura de 55 °C. O tempo de extração escolhido foi de 120 minutos para não prejudicar a frequência analítica. Essas condições foram consideradas ótimas para a extração enzimática de polifenóis do resíduo do pedúnculo do caju do Cerrado.

Figura 2 – Gráficos de superfície de resposta do efeito do pH, temperatura e tempo na extração de polifenóis individuais (soma das áreas dos picos) (a) pH x temperatura (°C). (b) Temperatura (°C) vs Tempo (min). (c) pH vs Tempo (min).



3.8. PERFIL DOS FENÓLICOS INDIVIDUAIS

O perfil fenólico dos resíduos está apresentado na tabela 5. Este é o primeiro relato sobre o perfil fenólicos do resíduo de caju da espécie *A. othonianum* Rizz. Quinze compostos fenólicos foram identificados nas amostras. Ácidos fenólicos (ácido gálico, ácido ferúlico, ácido protocatecúico, ácido siríngico, ácido clorogenico, ácido p-cumárico, ácido elágico e ácido vanílico), flavonóis (catequina, epicatequina e epigallocatequina) e flavan-3-ols (quercentina, rutina e kaempferol) foram encontrados nas amostras em uma ampla faixa de concentrações. Seis dos 15 compostos fenólicos (ácido clorogênico, epicatequina, miricetina, quercetina, rutina e kaempferol) também foram encontrados Oliveira *et al.*, (2019) e Moo-Huchin *et al.*, (2015) nas cascas de caju.

As concentrações dos polifenóis nas amostras estão na seguinte ordem: miricetina>ácido vanílico>ácido gálico. A miricetina também foi o principal flavonol majoritário encontrado na casca do caju amarelo (125,72 mg/100g) e no resíduo (91,80 mg/100g) provenientes do processamento do caju amarelo da espécie *A. occidentale* (Batista *et al.*, 2018; Moo-Huchin *et al.*, 2015). No entanto, a quantidade de miricetina encontrada no presente estudo foi inferior aos valores relatados pelos autores, que utilizaram solventes orgânicos no processo de extração. A literatura fornece evidências das propriedades nutraceuticas e antioxidantes de miricetina. A atividade antioxidante de miricetina é atribuída a presença de três grupos hidroxila no anel B em comparação com outros flavonóis. Há muitos benefícios relacionados a saúde atribuídos a miricetina, como hepatoprotetor antitumoral, anti-inflamatório, ação analgésica e antidiabética (Imran *et al.*, 2021).

A amostra RCA mostrou maior concentração de ácido gálico do que as observadas nas amostras RCV e RCL, 43 e 61%. A amostra RCA também apresentou alta concentração de ácido p-cumárico e rutina, que foi 8,63 e 35,13% maiores que as concentrações obtidas para a amostra RCL e 4,94 e 50,85% maiores que as obtidas para a amostra RCV, respectivamente. Notavelmente, a amostra RCV mostrou uma maior concentração de ácido protocatecúico do que as obtidas para as amostras RCL e RCA. Vale ressaltar que esses polifenóis não foram encontrados em cascas de caju da espécie *A. occidentale* (Moo-Huchin *et al.*, 2015), com exceção da rutina, que foi encontrada em cajueiros do Cerrado (hipocarpo) (*A. othonianum*) (Oliveira, Valeria F *et al.*, 2019). Esses polifenóis desempenham um papel importante como nutraceuticos

e exibem importantes atividades biológicas. O ácido protocatecúico é usado como componente ativo de muitos fitoterápicos devido às suas propriedades farmacológicas, incluindo atividade antibacteriana, anti-inflamatória e antioxidante (Kakkar e Bais, 2014). Foi relatado que o ácido p-cumárico reduz o colesterol total e o índice de aterosclerose e aumenta a catalase sérica, a capacidade antioxidante e a glutathione peroxidase (Shen *et al.*, 2019).

As concentrações de ácido ferúlico, kaempferol, ácido clorogênico, epigallocatequina e quercetina não apresentaram diferenças significativas entre as amostras. Além disso, houve diferenças significativas nas concentrações de ácido siríngico, catequina, epicatequina e ácido elágico.

Tabela 5 – LC-MS/MS parâmetros para análise de polifenóis e do resíduo de caju amarelo, vermelho e laranja obtido do processamento do suco de caju do Cerrado.

Analito	Tempo retenção (min)	Área Trabalho (mg/L)	M (g/mol)	Íon precursor [M-H ⁺](m/z)	Íons produtos (m/z)	Concentração (mg/kg)		
						RCA	RCV	RCL
Ácido gálico	1,277	0,01-15	170	169	125; 79	29,25 ± 0,54 ^a	11,34 ± 0,03 ^c	16,67 ± 0,14 ^b
Ácido ferúlico	2,339	0,01-15	194	193	178; 149; 134	3,58 ± 0,96 ^a	3,70 ± 0,51 ^a	3,50 ± 0,39 ^a
Ácido protocatecuico	2,819	0,01-15	154	153	109; 108	3,26 ± 0,43 ^c	8,09 ± 1,65 ^a	4,50 ± 0,59 ^b
Kaempferol	2,884	0,01-10	286	285	239; 229; 187; 185	5,58 ± 1,10 ^a	5,75 ± 1,05 ^a	5,53 ± 1,16 ^a
Ácido siríngico	3,777	0,01-15	198	197	182	5,02 ± 0,65 ^a	4,92 ± 0,80 ^b	4,52 ± 0,66 ^c
Catequina	5,112	0,01-15	290	289	203; 123; 109	5,46 ± 0,54 ^b	6,75 ± 0,56 ^a	5,83 ± 0,18 ^a
Epicatequina	5,113	0,01-15	290	289	203; 123; 109	5,71 ± 0,72 ^c	6,88 ± 0,34 ^a	6,27 ± 0,13 ^b
Ácido clorogênico	5,396	0,01-15	354	353	191; 85	4,82 ± 0,84 ^a	4,83 ± 0,75 ^a	4,89 ± 1,31 ^a
Epigalocatequina	6,071	0,01-15	458	457	169; 125	5,02 ± 0,77 ^a	5,03 ± 0,72 ^a	5,01 ± 1,57 ^a
Ácido p-cumárico	6,141	0,01-15	164	163	119; 93	12,27 ± 0,52 ^a	7,96 ± 1,52 ^c	11,21 ± 0,96 ^b
Rutina	6,703	0,01-10	610	609	301; 300	13,55 ± 2,03 ^a	6,66 ± 0,04 ^c	12,88 ± 0,48 ^b
Ácido elágico	6,850	0,01-10	302	301	284	5,52 ± 0,75 ^a	5,27 ± 0,91 ^a	4,69 ± 1,02 ^b
Ácido vanílico	6,931	0,01-10	168	167	152; 123; 108	32,32 ± 2,59 ^a	30,96 ± 2,54 ^c	31,16 ± 6,90 ^b
Miricetina	6,936	0,01-15	318	317	151; 137	44,26 ± 2,44 ^a	43,12 ± 1,45 ^a	43,03 ± 8,68 ^a
Quercetina	7,368	0,01-10	302	301	151; 121	5,30 ± 0,60 ^a	5,24 ± 0,40 ^a	5,21 ± 1,41 ^a

Resultados expressos em média ± DP em base seca (n=3). Letras diferentes na mesma linha indicam diferença estatística entre as amostras (p< 0,05). RCA: Resíduo de caju amarelo; RCL: Resíduo de caju laranja e RCV: Resíduo de caju vermelho.

É importante ressaltar que existe uma variação no perfil fenólico encontrado no presente estudo em relação a alguns encontrados na literatura (Batista *et al.*, 2018; Moo-Huchin *et al.*, 2015; Reina *et al.*, 2022). Isso pode ser explicado por diferenças metodológicas nos procedimentos utilizados durante a extração e quantificação. Além disso, fatores intrínsecos e extrínsecos, como variedade genética, estágio de maturação, tipo de cultivar, condições climáticas e culturais, condições de colheita e pós-colheita, entre outras variáveis, podem contribuir para a diferença nas quantidades dos compostos extraídos. Além disso, os protocolos de extração encontrados na literatura incluem solventes não GRAS (não geralmente reconhecidos como seguros), que são contaminantes e biologicamente agressivos e, portanto, inadequados para as indústrias alimentícia, cosmética ou farmacêutica, diferentemente do processo de extração assistida por enzimas utilizado no presente estudo.

3.9. PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS E PARÂMETROS DE COR

Os resultados analisados para as propriedades tecnológicas de capacidade de retenção de água (CRA), capacidade retenção de óleo (CRO), índice de solubilidade (IS), capacidade de intumescimento (CI) e parâmetros de cor L^* , a^* e b^* estão apresentados na tabela 6.

As propriedades tecnológicas influenciam no comportamento e na aparência de um alimento de maneira característica e que resulta da natureza intrínseca físico-química da matéria prima (Porte *et al.*, 2011). Para a capacidade de retenção de água (CRA) não foi observada diferença significativa ($p > 0,05$) entre as amostras. Os valores obtidos para os resíduos de caju do Cerrado foram maiores do que os obtidos para o pó da casca da manga (4,57 g/g) e para fibra da manga (1,47 g/g) no estudo de Roidoung; Ponta; Intisan (2020). Os resultados deste estudo também foram maiores do que os valores encontrados para a farinha do resíduo de açaí (3,12 g/g) (b.s) (Borges *et al.*, 2021). A capacidade das fibras alimentares em reter a água está relacionada com a fonte de fibra alimentar. Os resultados obtidos neste estudo indicam que as amostras analisadas têm capacidade para armazenar de 4,76 a 5,25 g de peso próprio em água, e de acordo Elleuch *et al.* (2011), as fibras alimentares com alta CRA podem ser usadas como ingredientes funcionais em produtos que requerem

hidratação, impossibilitando uma sinérese, melhorando o rendimento, e modificando a viscosidade e textura.

A capacidade de retenção de óleo (CRO) é uma propriedade tecnológica que está associada com a estrutura química dos polissacarídeos. Esta propriedade é importante para evitar a perda de gordura durante o cozimento e, conseqüentemente, tem influência no sabor, como também, potencial em modificar as propriedades de textura, função estabilizantes e emulsões além de influenciar na vida de prateleira de produtos alimentícios (Crizel *et al.*, 2016; Elleuch *et al.*, 2011). A amostra de resíduo RCA apresentou maior ($p < 0,05$) capacidade de retenção de óleo em relação às demais amostras. Os resultados encontrados são maiores quando comparados a outros valores obtidos para farinha da casca de feijoa (*Acca sellowiana*) (2,3 g/g) (Almeida *et al.*, 2020) e farinha do fruto de Palmeira (*Aiphanes aculeata*) (3,11 g/g) (Beltran *et al.*, 2021). A determinação da CRO é importante para o desenvolvimento de novos produtos, cozidos ou fritos, bem como sua estabilidade durante o armazenamento. Uma boa capacidade de CRO é de grande relevância para evitar a formação de gorduras, que podem ocasionar fenômenos de degradação dos produtos, como a oxidação lipídica e com isso afetando a aceitação do produto pelo consumidor (Sathe, 2002 e Damodaran; Parkin; Fennema, 2010).

O índice de solubilidade (IS) indica a quantidade de moléculas solúveis em água em uma determinada amostra, sendo um parâmetro utilizado para avaliar o grau de degradação dos grânulos de amido (Trombini, Leonel e Mischán, 2013). Neste estudo não foi observado diferença significativa entre o IS das amostras de resíduo ($p > 0,05$). Os resultados são próximos aos resultados obtidos para o subproduto de buriti (8,79 g/100g) (b.s) no estudo de Resende; Franca; Oliveira, (2019) e para resíduo de farinha de mangaba (9,24 g/100; 9,96 g/100 e 10,75 g/100g) do estudo de Vasconcelos *et al.*, (2023). As variações do IS de um determinado produto ocorrem devido a sua constituição química e a interação entre seus constituintes e a água, e também estão relacionadas a aplicação de tratamentos térmicos, que tendem a aumentar a sua solubilidade (Ahmed; Al-Jassar; Thomas, 2015; Leite *et al.*, 2018).

Para a capacidade de intumescimento (CI) também não foi observada diferença significativa ($p > 0,05$) entre as amostras. Esse volume do intumescimento reflete a capacidade que o resíduo tem de se expandir, possibilitando com que a matriz da fibra incha quando ocorre a absorção da água (Garcia *et al.*, 2017). Esses resultados para os resíduos de caju do Cerrado foram maiores do que os encontrados

para os subprodutos de buriti (3,70 mL/g) (b.s) (Resende; Franca; Oliveira, 2019b). A capacidade de intumescimento é uma propriedade que pode contribuir ao potencial de aplicabilidade de um concentrado fibroso em sistemas alimentares aquosos (Silva-Sánchez *et al.*, 2004).

Tabela 6 – Propriedades tecnológicas e parâmetros de cor dos resíduos de caju do Cerrado (*A. othonianum* Rizz.).

Análises	Amostras		
	RCA	RCL	RCV
Propriedades Tecnológicas			
CRA (g/g)	5,25 ± 0,25 ^a	4,76 ± 0,17 ^a	5,00 ± 0,57 ^a
CRO (g/g)	5,64 ± 0,13 ^a	4,74 ± 0,13 ^b	5,03 ± 0,11 ^b
IS (g/100g)	9,89 ± 5,00 ^a	10,16 ± 3,37 ^a	10,01 ± 4,99 ^a
CI (mL/g)	17,86 ± 2,48 ^a	18,56 ± 1,37 ^a	17,28 ± 2,39 ^a
Parâmetros de cor			
L*	65,11 ± 0,28 ^a	52,73 ± 0,09 ^b	48,14 ± 0,18 ^c
a*	3,82 ± 0,03 ^c	8,23 ± 0,02 ^b	20,28 ± 0,14 ^a
b*	37,00 ± 0,20 ^a	25,91 ± 0,20 ^b	13,99 ± 0,11 ^c

Valor médio ± desvio padrão (n=3) em base seca (b.s). Valores seguidos de letras diferentes na mesma linha indicam que os valores são significativamente diferentes ($p < 0,05$). RCA: Resíduo de Caju Amarelo; RCL: Resíduo de Caju Laranja; RCV: Resíduo de Caju Vermelho; CRA: Capacidade de retenção em água; CRO: Capacidade de retenção em óleo; IS: índice de solubilidade em água; CI: Capacidade de intumescimento.

Para os resultados dos parâmetros de cor L*, a* e b* dos resíduos de caju do Cerrado, também apresentados na tabela 6, foi possível verificar diferença significativa ($p < 0,05$) entre todas as amostras. A cor é um dos atributos de qualidade mais importantes para a indústria de alimentos. Devido aos pigmentos sintéticos serem cada vez mais rejeitados pelo consumidor, a busca por alternativas saudáveis, como os corantes naturais provenientes de frutas e legumes, vem sendo cada vez mais valorizados (Ayala-Zavala *et al.*, 2011). Para os valores de luminosidade, a amostra RCA apresentou um maior valor, seguido do RCL e RCV.

A cor característica de frutas avermelhadas é decorrente da presença de carotenoides e também antocianinas, que são pigmentos naturais solúveis em água, pertencente ao grupo dos compostos fenólicos, considerados metabólitos secundários

(Oliveira *et al.*, 2022). Como esperado, o RCV, apresentou maior valor para o parâmetro a^* (relacionado a cor vermelha), corroborando com os valores de antocianinas totais. Resultados similares foram obtidos no estudo de Schweiggert *et al.* (2016), que realizaram a identificação e quantificação de carotenoides e antocianinas da polpa e da casca do caju (*Anacardium occidentale*). Da mesma forma, os maiores valores para o parâmetro b^* (relacionado à cor amarela) ocorreram para o RCA, que apresentaram o maior teor de carotenoides.

3.10. MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

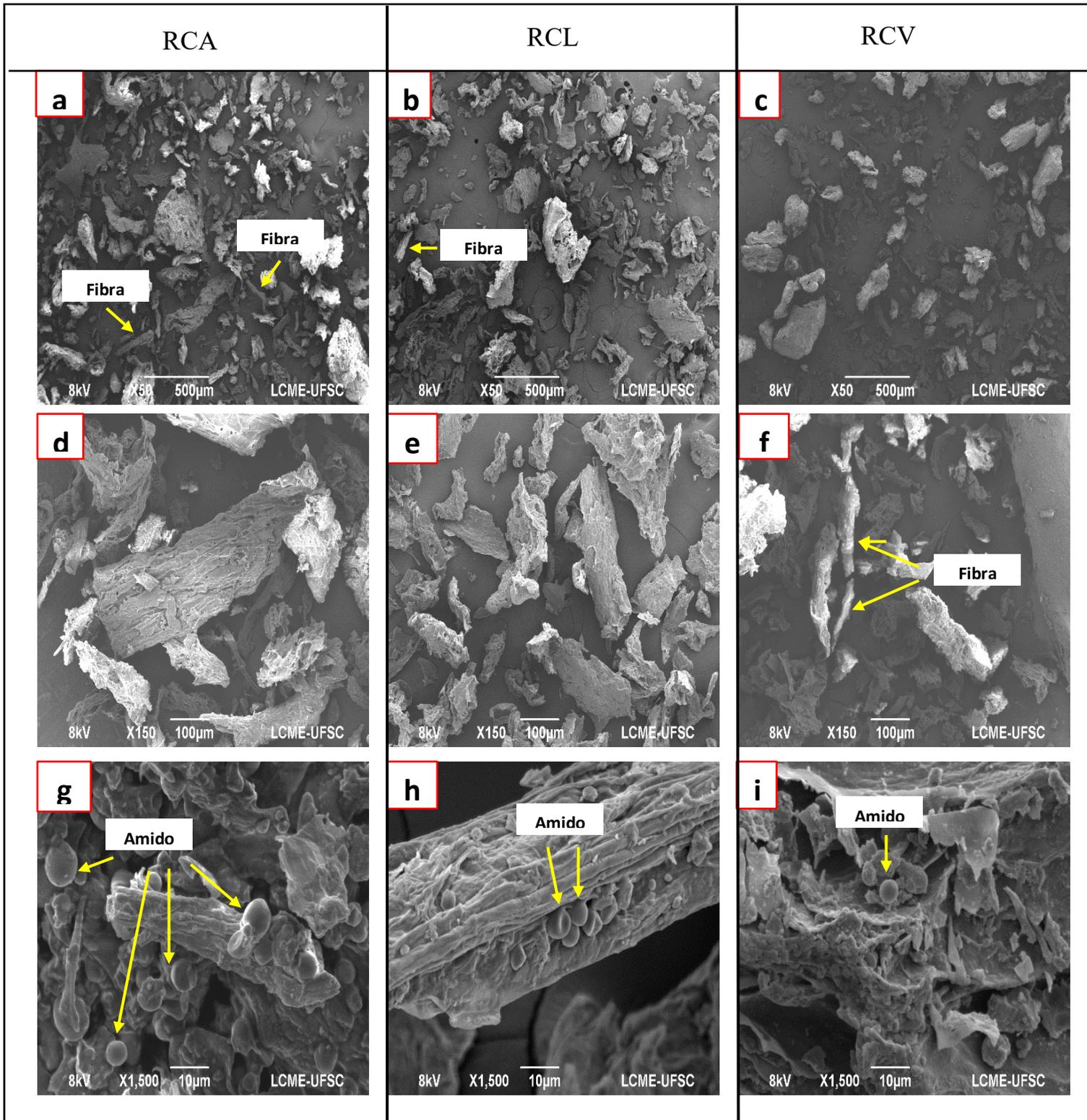
As micrografias eletrônicas dos resíduos são mostradas na Figura 3. Todas as amostras apresentaram formas e tamanhos irregulares. As micrografias com aumento de 50x (Fig. 3 - a, b, c,) mostraram estruturas fragmentadas em forma de bastão vertical, o que pode ser indicativo de fibra alimentar (Cunha *et al.*, 2020). Nas micrografias com aumento de 1500x (Fig. 3 – g, h, i) foi observada a aderência das partículas, estrutura porosa e presença de grânulos redondos, hexagonais, lisos e de diferentes tamanhos. Esse formato arredondado característico apresentado nas micrografias deste estudo é semelhante aos grânulos de amido relatados em grãos de milho (Sousa *et al.*, 2019).

Os grânulos de amido também foram observados em micrografias de farinha de bagaço de maçã (O'Shea *et al.*, 2015). Segundo Fennema, Damodaran e Parkin (2010) os grânulos de amido podem ter formato esférico e angular e grânulos ovais.

Haris *et al.*, (2023) observaram nas micrografias eletrônicas de bagaço de tâmaras de menor ampliação (20 e 50 μm) a presença de aglomerados principalmente por causa dos açúcares no bagaço, entretanto, em maior ampliação (500 e 1000 μm) observaram uma estrutura fibrosa em forma de feixes, devido a predominância relatada de fibra insolúvel alimentar. Esse comportamento foi semelhante ao encontrado nas microestruturas do resíduo de caju do Cerrado.

A microscopia eletrônica de varredura é de suma importância para identificar a forma das estruturas dos alimentos, como amido, agregados de proteínas, fibras e cristais de gordura. A organização dessas estruturas e os complexos que elas formam também podem ser estudados por MEV com o objetivo principal de esclarecer as funções e interações entre esses componentes alimentares (Rashidian *et al.*, 2021).

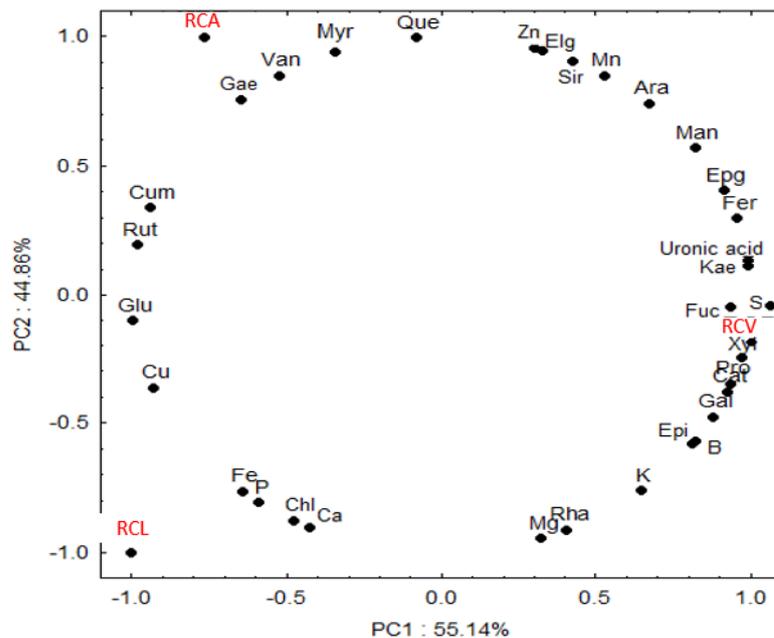
Figura 3 – Micrografia Eletrônica de Varredura dos resíduos de caju do Cerrado (*Anacardium othonianum* Rizz.). Imagens na coluna vertical representam as amostras RCA: Resíduo de caju amarelo, RCL; Resíduo de caju laranja e RCV: Resíduo de caju vermelho. As imagens na horizontal correspondem ao aumento de x50, x150, e de x1500.



3.11. CORRELAÇÃO ENTRE PERFIL POLIFENÓLICO, COMPOSIÇÃO MONOSSACARÍDICA E MINERAL

Houve uma clara separação entre o resíduo de caju do Cerrado de diferentes cores. O conjunto de dados das amostras revelou que 100% da variabilidade total foi representada em dois componentes principais (PC1 × PC2) (Figura 4). O PC1 explicou 55,14% da variabilidade dos dados, enquanto o PC2 explicou 44,86%.

Figura 4 – Análise de componentes principais do perfil polifenólico, composição monossacarídica e perfil mineral resíduos obtidos de RCA, RCL e RCV. Gae- ácido gálico; Fer- ácido ferúlico; Ácido Pro-Protocatecuico; Kae- Kaempferol; Sir- ácido siríngico; Cat- Catequina; Epicatequina; Chl- Ácido clorogênico; Epi- Epigalocatequina, Co- up-Ácido cumárico; Elg- ácido elágico; Van- Vanillic acid, Myr- Myricetin; Que- Quercetina; Rha-Rhamnose; Fuc- Fucose; Ara-Arabinose; Xil-Xilose; Man- Manose; Gal- Galactose; Uro- Ácido urônico.



A análise multivariada revelou que a maioria dos compostos fenólicos individuais, monossacarídeos e minerais separou a amostra RCV em PC1. Observou-se que a amostra de RCV apresentou forte associação com ácido elágico, ácido siríngico, epigalocatequina, kaempferol, ácido protocatecuico, ácido gálico, catequina e epicatequina. Além disso, a amostra de RCV mostrou uma forte associação com vários monossacarídeos (ramnose, galactose, xilose, fucose, ácido urônico, manose e arabinose) e microelementos (Zn, Mn, S, B, K e Mg). No entanto, a amostra de RCL foi associada apenas com Ca, P, Fe, Cu, glicose e ácido urônico. Por outro lado, a

amostra RCA foi associada apenas aos polifenóis quercetina, miricetina, ácido vanílico, gálico, p-cumárico e rutina. A abordagem multivariada revelou que resíduos de caju do Cerrado de diferentes cores apresentam diferenças consideráveis em suas composições químicas.

4. CONCLUSÕES

Os resíduos do caju do Cerrado apresentaram potencial para serem usados como fontes de fibras e minerais, como K, P, Fe, Cu e Mg, que são essenciais e fisiologicamente importantes para a saúde humana. O RCV apresentou maior teor de polifenóis, antocianinas e capacidade antioxidante. As condições ótimas de extração enzimática de compostos fenólicos do resíduo de caju do Cerrado foram obtidas em pH 5,5, tempo de extração de 120 min e temperatura de 55°C. A miricetina, o ácido vanílico e o ácido gálico foram os polifenóis predominantes nas amostras, com destaque para o RCA. A análise de componentes principais mostrou que as amostras do resíduo de caju foram agrupadas de acordo com suas cores, considerando seus potenciais perfis polifenólicos e monossacarídeos. Os resultados obtidos neste estudo fornecem informações valiosas sobre o potencial bioativo e as propriedades nutricionais do resíduo de caju do Cerrado, incentivando seu uso sustentável nas áreas de ciência e tecnologia de alimentos. A utilização desse resíduo é uma alternativa viável para o desenvolvimento de produtos com qualidade para a indústria de alimentos, com alto valor agregado. Contribuindo também com a redução do desperdício agroindustrial e favorecendo a diminuição do impacto ambiental.

CAPÍTULO 3

IMPACTO DA DIGESTÃO GASTROINTESTINAL SIMULADA *IN VITRO* E CAPACIDADE ANTIOXIDANTE E BIOACESSIBILIDADE DOS COMPOSTOS FENÓLICOS E DOS MINERAIS DO RESÍDUO DO CAJU DO CERRADO (*Anacardium othonianum* Rizz.)

RESUMO

O caju do Cerrado (*Anacardium othonianum* Rizz.) é um fruto nativo do Cerrado brasileiro que apresenta grande potencial econômico e nutricional. Este estudo avaliou pela primeira vez a influência da digestão gastrointestinal *in vitro* nos fenólicos e na capacidade antioxidante, além da bioacessibilidade dos fenólicos individuais e minerais em resíduos de caju amarelo (RCA), laranja (RCL) e vermelho (RCV) da espécie *Anacardium othonianum* Rizz. Todas as amostras apresentaram maior teor de compostos fenólicos totais (CFT) após a digestão gástrica e intestinal. A maior capacidade antioxidante avaliada pelo método ABTS foi observada em todas as amostras na fase intestinal, enquanto para o método redutor férrico (FRAP) foi observado uma maior atividade antioxidante na fase gástrica. Em relação aos compostos fenólicos, foram identificados um ácido fenólico (ácido p-cumárico) e dois flavonoides (isoquercetina e rutina), que apresentaram concentrações diferentes para todas as amostras de resíduo de caju e comportamentos diferentes nas fases da digestão. Muitos desses compostos são degradados ou não absorvidos ao longo do processo gastrointestinal, devido aos ácidos fenólicos serem mais sensíveis a alterações de pH ou ação enzimática. Elevados teores de minerais como Ca e P foram encontrados para todas as amostras após a digestão gastrointestinal *in vitro*. A bioacessibilidade dos fenólicos individuais variou entre os resíduos avaliados. A maior bioacessibilidade foi observada para o ácido p-cumárico na amostra RCA (176,25 %) e a menor para isoquercetina na amostra RCV (44,56%). O Ca e o Mg tiveram uma maior bioacessibilidade para o resíduo de caju amarelo (RCA) com 114,47 e 163,85 %, respectivamente. De uma forma geral, a bioacessibilidade e a bioatividade dos compostos fenólicos e minerais dos resíduos de caju pode ser influenciada pela fração e a fase digestiva avaliada.

Palavras-chave: *Anacardium othonianum* Rizz., fenólicos, minerais, digestão gastrointestinal.

ABSTRACT

Cerrado cashew (*Anacardium othonianum* Rizz.) is a fruit native to the Brazilian cerrado that has great economic and nutritional potential. This study evaluated for the first time the influence of in vitro gastrointestinal digestion on phenolics and antioxidant capacity, in addition to the bioaccessibility of individual phenolics and minerals in yellow (RCA), orange (RCL) and red (RCV) cashew residues of the species *Anacardium othonianum*. Rizz. All samples were collected higher total phenolic compound (TPC) after gastric and intestinal digestion. The greatest antioxidant capacity of the ABTS method was observed in all samples in the intestinal phase, while the ferric reducing method (FRAP), a greater antioxidant activity was observed in the gastric phase. In relation to phenolic compounds, a phenolic acid (p-coumaric acid) and two flavonoids (isoquercetin and rutin) were identified, which contained different concentrations for all cashew exclusion samples and different behaviors in the digestion phases. Many of these compounds are degraded or not absorbed throughout the gastrointestinal process due to phenolic acids, being more sensitive to changes in pH or enzymatic action. High levels of minerals such as Ca and P were found for all samples after in vitro gastrointestinal digestion. The bioaccessibility of phenolic individuals varies between those evaluated. The highest bioaccessibility was for p-coumaric acid in the RCA sample (176.25%) and the lowest for isoquercetin in the RCV sample (44.56%). In the bioaccessibility of minerals, Ca and Mg had greater bioaccessibility for the elimination of yellow cashew (RCA) with 114.47 and 163.85%, respectively. In general, the bioaccessibility and bioactivity of phenolic and mineral compounds from cashew residues can be influenced by the fraction and digestive phase evaluated.

Keywords: *Anacardium othonianum* Rizz., phenolics, minerals, gastrointestinal digestion.

1. INTRODUÇÃO

O caju do Cerrado (*Anacardium othonianum* Rizz) é uma espécie nativa brasileira de grande importância na região do Cerrado (Araújo Padilha, de *et al.*, 2020). Seu pseudofruto possui características sensoriais atrativas, apresentando um sabor levemente ácido e suculento, e uma coloração que varia entre amarelo, laranja e vermelho. Além disso, seu consumo tanto *in natura* quanto processado apresenta potenciais efeitos benéficos à saúde, devido a sua composição química, composta principalmente por fibras, compostos fenólicos, antocianinas, minerais e vitamina C (Alves *et al.*, 2017; Oliveira, Valeria F *et al.*, 2019).

O caju do Cerrado é utilizado especialmente na produção de sucos, no entanto, após a extração do suco é gerado uma grande quantidade de resíduos (Araújo Padilha *et al.*, 2020). O bagaço de *A. othonianum* Rizz. de diferentes cores foi caracterizado previamente pelo nosso grupo de pesquisa, e foi observado que independentemente da cor ele pode ser usado como importante fonte de fibra alimentar e minerais, como K, P, Fe, Cu e Mg (Freitas *et al.*, 2023).

A análise dos compostos fenólicos e da composição elementar dos macros e micronutrientes presentes em resíduos de frutas vem ganhando cada vez mais atenção devido à sua importância para a saúde humana. No entanto, é importante ressaltar que nem todos os polifenóis e minerais são absorvidos pelo organismo com a mesma eficiência. Esses compostos, na maioria das vezes, encontram-se na forma conjugada e não conseguem ser absorvidos (Barros *et al.*, 2020). Neste sentido, é de grande relevância conhecer e entender a bioacessibilidade destes compostos. A bioacessibilidade dos fitoquímicos de alguns subprodutos já foi estudada, como a de tomate (Coelho *et al.*, 2023), suco da casca do melão (Gómez-García *et al.*, 2022), semente de açaí (Rossetto *et al.*, 2020) e farinha do bagaço de uva (Beres *et al.*, 2019). Entretanto, ainda não foi relatado o estudo sobre a bioacessibilidade dos fitoquímicos do bagaço do caju do Cerrado.

Sendo assim, o objetivo deste estudo foi avaliar a influência da digestão gastrointestinal *in vitro* sobre o conteúdo de fenólicos totais e capacidade antioxidante, além de analisar a bioacessibilidade dos compostos fenólicos individuais e dos minerais presentes nos resíduos de caju amarelo (RCA), laranja (RCL) e vermelho (RCV) da espécie *A. othonianum* Rizz.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. REAGENTES

Para a simulação gastrointestinal *in vitro* as enzimas α -amilase, pepsina e pancreatina e os sais biliares hidrato de taurocolato de sódio, glicodesoxicolato de sódio e hidrato de taurodesoxicolato de sódio, bem como os padrões analíticos para a análise de compostos fenólicos individuais (ácido p-cumárico, 4-metilumbeliferona, ácido vanílico, rutina, naringina, (+)-catequina, sinaldeído, cafeico ácido, ácido clorogênico, coniferaldeído, siringaldeído, crisina, hesperidina, ácido siríngico, kaempferol, pigenina, isorhamnetina, pinobanksina, ácido ferúlico, ácido sinápico, ácido p-aminobenzóico, naringenina, galato de (-)-epigallocatequina, (-)-epicatequina, ácido salicílico, quercetina, ácido gálico, ácido benzóico, ácido 3,4-dihidroxibenzóico, pinocembrina, luteolina e galangina), e os demais reagentes em grau analíticos (etanol, n-hexano, acetato de etila, hidróxido de sódio (NaOH), ácido clorídrico (HCl), Trolox (ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico), DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazil) e o radical ABTS [2,2'-azino-bis(ácido 3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico)]) foram obtidos da Sigma-Aldrich (St. Louis, Missouri, EUA). Para análise elementar, as soluções padrões certificadas (1000 mg/L) de cada elemento (Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Zn, Ca, Mg, P) foram obtidas de Spex Certiprep Chemical (Metuchen, New Jersey, EUA). Metanol (MeOH) e acetonitrila (ACN) foram adquiridos da Merck (Darmstadt, Alemanha), e ácido fórmico grau HPLC foi adquirido de JT Baker (Phillipsburg, NJ, EUA). A água ultrapura foi obtida de um sistema de purificação de água MegaPurity (Billerica, MA, EUA).

2.2. OBTENÇÃO DO RESÍDUO DO CAJU DO CERRADO

Os frutos de caju do Cerrado (*Anacardium othonianum* Rizz.) de coloração amarela (RCA), laranja (RCL) e vermelha (RCV) foram coletados entre setembro e outubro de 2018 no bioma Cerrado, especificamente na região de Montes Claros de Goiás (Goiás, Brasil) (16°06'20" S e 51°17'11" W). Os cajus de cores amarelo, laranja e vermelho foram processados separadamente por cor em um liquidificador industrial (Modelo LS-08MB-N, Skymesen, Brusque, SC, Brasil) para extrair o suco e assim obter os resíduos sólidos das amostras de bagaço, de acordo com a metodologia descrito

por de Freitas et al., (2023). As amostras liofilizadas foram trituradas em moinho de facas (10 mesh) (R-TE-648, Tecnal, São Paulo, SP, Brasil) e armazenadas a -22°C até o momento da análise. Todas as análises foram realizadas com amostras liofilizadas.

2.3. SIMULAÇÃO GASTROINTESTINAL *IN VITRO*

A simulação gastrointestinal *in vitro* foi realizada conforme a metodologia proposta por Minekus et al. (2014). A digestão consistiu em três fases (fase oral, gástrica e intestinal). As amostras não digeridas foram submetidas às mesmas condições de digestão *in vitro* (tempo e temperatura), porém sem a presença de enzimas (α -amilase, pepsina, pancreatina) e sais biliares (taurocolato de sódio hidratado, glicodesoxicolato de sódio e taurodesoxicolato de sódio hidratado). Para a fase oral, 0,25 g de cada amostra de resíduo de caju do Cerrado (RCA, RCL, RCV), 3,5 mL de fluido salivar (pH 7,0) e 0,5 mL de enzima α -amilase (75 U/mL) foram agitados (100 rpm) por 2 min a 37°C em banho-maria. As amostras foram submetidas à fase gástrica para a sequência de digestão. Nesta fase, 3,75 mL de fluido gástrico (pH 3,0), 0,8 mL de pepsina (2000 U/mL) e 10 μL de CaCl_2 (0,3 M) foram adicionados à mistura e mantidos em banho-maria sob agitação (100 rpm) por 2 horas a 37°C . Após a fase gástrica, as amostras foram submetidas à fase intestinal, onde foi adicionado 5,5 mL fluido intestinal, 2,5 mL de pancreatina (800 U/mL), 1,25 mL de sais biliares (10 mol/L) e 20 μL CaCl_2 (0,3 mol/L). Nesta etapa, o pH foi ajustado para 7,0 com NaOH 1 M e as amostras foram incubadas em banho termostático a 37°C por 2 h. Ao final de cada etapa da digestão, uma alíquota foi retirada e centrifugada (3000 rpm por 10 min a $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$) (Hermle Z200A, Wehingen, Alemanha). O sobrenadante foi coletado, filtrado e analisado diretamente em um sistema LC-MS/MS.

2.4. COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE *IN VITRO* EM AMOSTRAS DIGERIDAS E NÃO DIGERIDAS

Os compostos fenólicos totais (TPC) das amostras não digeridas e após digestão simulada *in vitro* foram determinados usando o reagente Follin-Ciocalteau (Singleton e Rossi, 1965). A leitura da absorbância foi realizada a 765 nm em espectrofotômetro UV-VIS (modelo U-1800, Hitachi, Japão) e os resultados foram

expressos em mg equivalente de ácido gálico (EAG) por g de amostra (base seca). A capacidade antioxidante foi determinada pelos métodos de atividade de captura do radical livre ABTS⁺ (RE *et al.*, 1999) e pelo potencial antioxidante redutor férrico (FRAP) (Benzie e Strain, 1996). As amostras foram avaliadas em 754 e 620 nm para os radicais ABTS e FRAP, respectivamente. Os resultados dos ensaios foram expressos em μ M equivalente de Trolox (TEAC) por grama de amostra (base seca).

2.5. ANÁLISE DE COMPOSTOS FENÓLICOS INDIVIDUAIS EM AMOSTRAS DIGERIDAS E NÃO DIGERIDAS POR LC-ESI-MS/MS

Os compostos fenólicos individuais das amostras RCA, RCL, RCV foram determinados para amostras não digeridas e após digestão simulada *in vitro* de acordo com a metodologia descrita por Seraglio *et al.*, (2016). Medições de cromatografia líquida acoplada ao espectrômetro de massas com ionização por electrospray (LC-ESI-MS/MS) foram realizadas em um sistema cromatográfico Agilent série 1290 (Agilent Technologies, Wilmington, DE, EUA) acoplado a um espectrômetro de massa quadrupolo linear híbrido QTRAP 5500 (Sciex, Foster City, CA) equipado com uma fonte de ionização por electrospray (ESI). A separação analítica foi realizada em uma coluna VENUSIL C18 (100 mm \times 2,1 mm; diâmetro de partícula de 3 μ m) (Bona Angela Technologies, Wilmington, EUA). A temperatura da coluna foi fixada em 40 °C e a vazão adotada foi de 300 μ L/min, e um volume de 5 μ L foi injetado para todas as soluções padrão e amostras. A fase móvel consistiu em solvente A (água com 0,1% de ácido fórmico) e solvente B (acetonitrila com 0,1% de ácido fórmico). O gradiente para fase móvel foi programado da seguinte forma: 98% A (v/v) de 0 a 4,0 min, 98–80% A (v/v) de 4,0 a 7,0 min, 80–10% A (v/v) de 7,0 a 14,0 min, 10% A (v/v) de 14,0 a 15,0 min, 10-98% A (v/v) de 15,0 a 17,0 min. O tempo de equilíbrio da coluna entre cada corrida foi de apenas 4 min, enquanto o tempo total de corrida foi de 17 min.

O espectrômetro de massa foi operado no modo Monitoramento de Reações Múltiplas (MRM), de acordo com os seguintes parâmetros: voltagem de IonSpray 5500 V; gás de cortina de 25 psi; gás nebulizador (GS1) e gás auxiliar (GS2) de 55 psi; temperatura da fonte de 400 °C. Para o processamento dos dados foi utilizado um software Analyst 1.6.2 (Sciex, Foster City, CA).

2.6. COMPOSIÇÃO ELEMENTAR POR ICP OES

A composição elementar das amostras foi determinada usando um espectrômetro de emissão óptica de plasma acoplado indutivamente (ICP OES), através do monitoramento de dez elementos (Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Zn, Ca, Mg e P). A análise foi realizada no espectrômetro iCAP 6000 Series (Thermo Fisher Scientific, Waltham, USA) equipado com um nebulizador tipo Meinhard® e uma câmara de spray ciclone e um CETAC ASX-520 automático. A digestão das amostras foi realizada em forno de micro-ondas (DGT-100 Plus Provecto, Provecto Analítica, São Paulo, Brasil) com ácido nítrico e peróxido de hidrogênio. Nas determinações ICP OES utilizou-se o argônio com pureza mínima de 99,95% como geração de plasma, nebulização e gás auxiliar. As seguintes condições operacionais foram utilizadas: potência de radiofrequência de 1300 W, vazão de gás auxiliar de 1,0 L/min e vazão de gás nebulizador de 0,38 L/min. Testes de recuperação em três níveis foram realizados para verificar a precisão do método.

2.7. BIOACESSIBILIDADE DOS COMPOSTOS FENÓLICOS INDIVIDUAIS E MACRO E MICROELEMENTOS

O efeito da digestão gastrointestinal *in vitro* nos compostos fenólicos e nos minerais foi avaliado pelo índice de bioacessibilidade (IB) calculado pela Equação 1 (Ortega *et al.*, 2011):

$$IB (\%) = 100 \times \frac{A}{B} \quad (1)$$

Onde A, representa o teor de cada composto no final da fase intestinal (Granado-Lorencio *et al.*, 2007), e B representa o teor de cada composto antes da simulação gastrointestinal *in vitro* (Ortega *et al.*, 2011).

2.8. ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise estatística foi realizada com o software STATISTICA versão 6.0 (StatSoft Inc., Tulsa, EUA). A análise de variância unidirecional e o teste HSD de Tukey foram usados para avaliar as diferenças estatísticas ($p < 0,05$) entre as

amostras antes e depois da digestão simulada. Todas as análises foram realizadas em triplicatas e os resultados expressos como médias \pm desvio padrão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. EFEITO DA DIGESTÃO *IN VITRO* NO CONTEÚDO FENÓLICO E NA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

Os resultados de compostos fenólicos totais (CFT) e atividade antioxidante para as amostras digeridas e não digeridas estão apresentados na Tabela 1. Foi observado um aumento no CFT ($p < 0,05$) durante a simulação gastrointestinal *in vitro* para os resíduos de caju do Cerrado, sendo que as amostra RCA, RCL e RCV apresentaram maior CFT na fase intestinal em comparação com a fase oral. Este aumento pode ser explicado pela liberação dos compostos fenólicos que estão ligados às fibras e outros componentes do bagaço de caju por hidrólise enzimática (Wang, He e Chen, 2014; Yagci *et al.*, 2022). Os menores teores de CFT foram encontrados nas amostras não digeridas, sugerindo que os compostos fenólicos foram efetivamente liberados das matrizes para os sucos gástrico e intestinal, provavelmente devido pH ácido e atividades enzimáticas (Djaoudene *et al.*, 2021). No estudo de Barros *et al.* (2020) avaliaram o impacto da digestão *in vitro* sobre os compostos fenólicos de caju, cupuaçu e graviola e também observaram um aumento nos teores de compostos fenólicos após a digestão *in vitro*.

Tabela 1 – Alteração nos compostos fenólicos totais, atividade antioxidante *in vitro* das amostras do resíduo de caju do Cerrado durante simulação gastrointestinal *in vitro* de amostras digeridas e não digeridas.

Compostos fenólicos totais (CFT) (mg EAG/g)			
Amostras	RCA	RCL	RCV
Não-digerida	1,11 ^{cC} ± 0,01	1,89 ^{bC} ± 0,2	3,28 ^{aC} ± 0,1
Oral	2,74 ^{cC} ± 0,05	3,34 ^{bB} ± 0,07	4,52 ^{aB} ± 0,04
Gástrica	10,06 ^{aC} ± 1,0	9,88 ^{aA} ± 0,5	9,95 ^{aA} ± 0,2
Intestinal	7,18 ^{bB} ± 0,2	9,99 ^{aA} ± 0,3	9,51 ^{aA} ± 0,2
Capacidade antioxidante <i>in vitro</i> – ABTS (µM Trolox/g)			
Amostras	RCA	RCL	RCV
Não-digerida	128,94 ^{bB} ± 2,66	161,17 ^{aA} ± 0,48	89,37 ^{bB} ± 0,60
Oral	29,27 ^{aD} ± 0,5	29,72 ^{aD} ± 2,17	30,91 ^{aD} ± 1,57
Gástrica	52,15 ^{cC} ± 0,25	54,92 ^{bC} ± 0,94	61,06 ^{cC} ± 1,13
Intestinal	149,24 ^{aA} ± 0,98	147,59 ^{aB} ± 1,5	137,78 ^{aA} ± 2,19
Capacidade antioxidante <i>in vitro</i> – FRAP (µM Trolox/g)			
Amostras	RCA	RCL	RCV
Não-digerida	4,06 ^{bC} ± 0,5	3,93 ^{bD} ± 0,06	25,90 ^{aC} ± 0,56
Oral	15,21 ^{bB} ± 0,24	16,51 ^{bB} ± 0,2	17,66 ^{cD} ± 0,31
Gástrica	31,17 ^{aA} ± 0,19	31,77 ^{aA} ± 0,65	34,04 ^{aA} ± 0,09
Intestinal	3,35 ^{cC} ± 0,12	8,72 ^{cC} ± 0,19	31,38 ^{aB} ± 0,56

Resultados expressos em média ± DP em base seca (n=3). Letras minúsculas na mesma linha diferem estatisticamente entre as amostras (p< 0,05). RCA: Resíduo de caju amarelo; RCL: Resíduo de caju laranja e RCV: Resíduo de caju vermelho. Letras maiúsculas na mesma coluna mostram as diferenças significativa da amostra de resíduo de caju durante as fases de digestão pelo teste de Tukey (p<0,05).

Para a capacidade antioxidante avaliada pelos ensaios de ABTS e FRAP das amostras de resíduo de caju digeridas e não digeridas, foi observado comportamentos diferentes para cada método. A maior capacidade antioxidante determinada pelo método ABTS foi observada em todas as amostras digeridas na fase intestinal. Segundo Cömert; Mogol; Gökmen, (2020), o aumento da atividade antioxidante em condições intestinais pode ser atribuído à desprotonação da porção hidroxila presente nos anéis aromáticos dos compostos fenólicos. Esse aumento também pode estar relacionado ao aumento de compostos fenólicos totais na fase intestinal ou associado à possibilidade de maior afinidade dos derivados fenólicos formados em condições alcalinas para esse ensaio (Ozkan, Karadag e Sagdic, 2022). Comportamento similar a estes resultados foi observado por Farias *et al.* (2021) ao avaliarem o efeito da digestão *in vitro* na bioacessibilidade dos compostos fenólicos nos frutos e sementes de uvaia. Estes pesquisadores verificaram que a capacidade antioxidante determinada pelo método ABTS da fração comestível da polpa e casca de uvaia também aumentou significativamente na fase intestinal. Araújo *et al.* (2021) também observaram aumento na capacidade antioxidante determinada pelo método ABTS

após a digestão gastrointestinal nas amostras de polpa, casca e semente de araçá-boi.

Já para a atividade antioxidante avaliada pelo método redutor férrico (FRAP), foi observado maiores valores na fase gástrica para todas as amostras, quando comparada a fase oral, intestinal e da amostra não digerida. Para amostras RCA e RCL, a atividade antioxidante da fase intestinal foi menor do que as encontradas nas fases oral e gástrica. Esse mesmo comportamento de redução de atividade antioxidante determinada por FRAP também foi observado no estudo de Cao *et al.* (2021) para os extratos etanólicos da casca de maracujá.

A atividade antioxidante nos alimentos está diretamente relacionada as estruturas químicas dos seus compostos fenólicos, os quais capturam diferentes fontes de radicais ou antioxidantes usando mecanismos diferentes, o que depende do sistema de reação imposto pelo método para avaliação, bem como dos componentes da matriz alimentar (Hidalgo, Sánchez-Moreno e Pascual-Teresa, 2010; Nora *et al.*, 2014). Sendo assim, essas diferenças observadas nos ensaios antioxidantes das amostras do resíduo de caju durante simulação gastrointestinal *in vitro* se baseiam em duas metodologias diferentes, podendo cada método de avaliação da atividade antioxidante atuar com diferentes mecanismos de ação (Dutra *et al.*, 2017).

3.2.EFEITO DA DIGESTÃO GASTROINTESTINAL *IN VITRO* SOBRE OS COMPOSTOS FENÓLICOS

Os fenólicos identificados nas amostras de resíduo de caju do Cerrado de diferentes cores durante a digestão *in vitro* e amostras não digeridas estão apresentados na Figura 1. Foram identificados três compostos fenólicos em todas as amostras, sendo eles, um ácido fenólico (ácido p-cumárico) e dois flavonoides (isoquercetina e rutina).

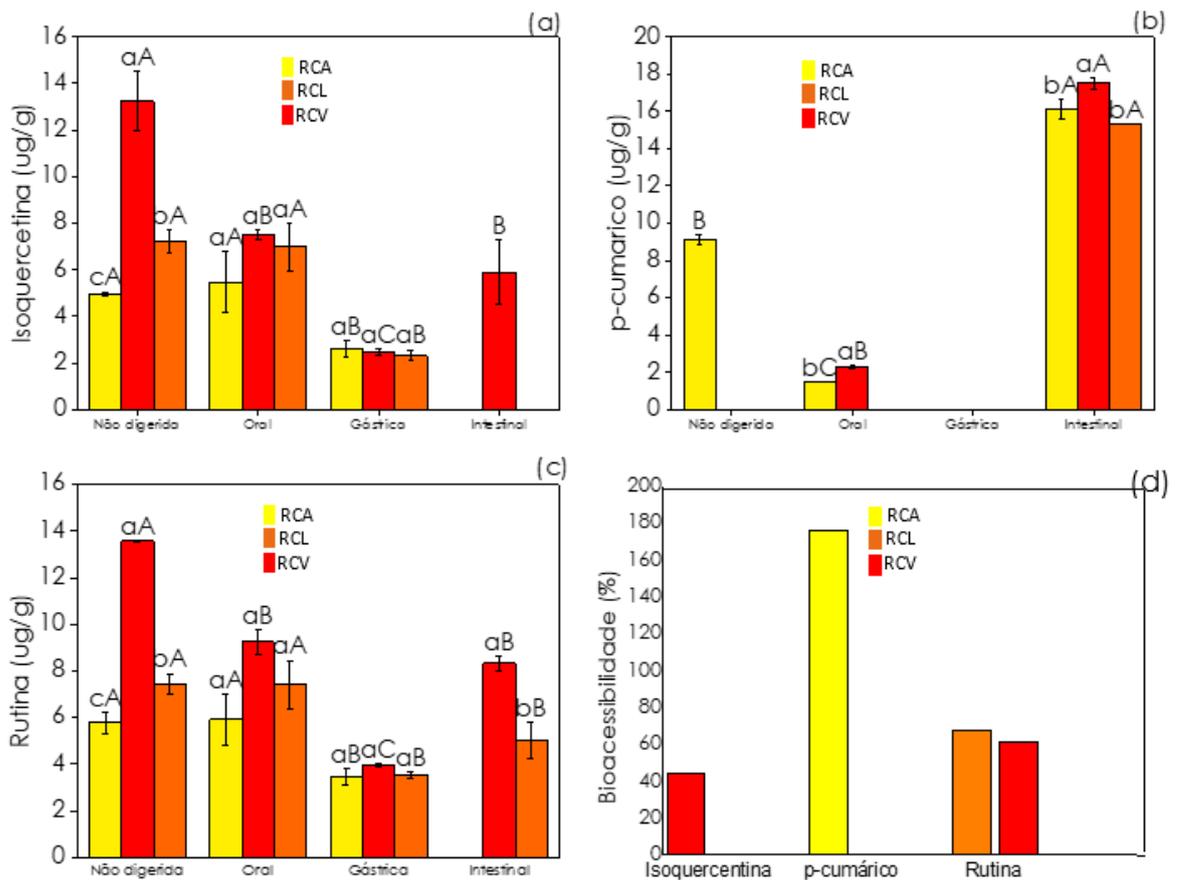
A rutina (Figura 1c) foi o composto majoritário das amostras não digeridas de RCL e RCV, com concentrações de $7,43 \pm 0,45 \mu\text{g/g}$ e $13,57 \pm 0,01 \mu\text{g/g}$, respectivamente. Ambas as amostras também apresentaram a isoquercetina como o segundo composto mais abundante (Figura 1a). Segundo Semwal *et al.*, (2021), a rutina é um flavonoide com propriedades antioxidante, anti-hipertensiva, antidiabética, anti-inflamatória e com capacidade de proteção cardíaca. Por outro lado, na amostra

RCA, o composto majoritário foi o ácido p-cumárico (Figura 1b), com uma concentração de $9,14 \pm 0,25 \mu\text{g/g}$.

A digestão *in vitro* afetou o teor dos compostos fenólicos, especialmente na fase gástrica. Todas as amostras apresentaram uma redução significativa ($p < 0,05$) de isoquercetina e rutina. O ácido p-cumárico não foi detectado durante a fase gástrica. No entanto, na fase intestinal, todas as amostras apresentaram alta concentração do ácido p-cumárico. De acordo com Blanco Canalis *et al.* (2020), a diminuição ou não detecção destes compostos ao longo da digestão pode ser devido aos ácidos fenólicos serem mais sensíveis a alterações de pH ou ação enzimática. Comportamentos semelhantes foram observados em outros estudos, onde ocorreu um aumento de determinados compostos na fase intestinal da digestão *in vitro*. Inada *et al.* (2020) avaliaram o efeito da digestão gastrointestinal e bioacessibilidade sobre os compostos fenólicos da casca e das sementes de jabuticaba e observaram que dos oito compostos fenólicos analisados, cinco tiveram aumento na fase da digestão intestinal. Resultados semelhantes também foram encontrados no estudo de Ismail *et al.*, (2021), que investigaram a digestão gastrointestinal da polpa e subprodutos do fruto do Baobá (*Adansonia digitata*). A maioria dos compostos fenólicos da polpa e do resíduo do fruto Baobá apresentaram aumento de concentração durante a fase intestinal em comparação com a fase gástrica da digestão. Esse comportamento pode estar relacionado ao efeito da pancreatina na matriz alimentar, que é uma enzima digestiva intestinal que facilita a liberação desses compostos ligados a matriz (Ismail *et al.*, 2021).

Na fase intestinal, foram encontrados isoquercetina ($5,90 \pm 1,38 \mu\text{g/g}$), p-cumárico ($17,52 \pm 0,29 \mu\text{g/g}$) e rutina ($8,33 \pm 0,32 \mu\text{g/g}$) na amostra RCV, porém, a amostra RCL apresentou somente os compostos p-cumárico ($15,29 \pm 0,16 \mu\text{g/g}$) e rutina ($4,57 \pm 0,02 \mu\text{g/g}$). Em relação à amostra RCA, não foram encontrados os compostos fenólicos isoquercetina e rutina na fase intestinal. De acordo com Ribeiro *et al.* (2019), muitos compostos fenólicos são degradados/perdidos, metabolizados, ou até mesmo não absorvidos ao longo do processo gastrointestinal. Além disso, o pH do ambiente intestinal juntamente com a ação dos sais biliares pode alterar as estruturas químicas dos compostos fenólicos, e assim resultar em compostos novos e com diferentes biodisponibilidades (Koehnlein *et al.*, 2016).

Figura 1 – Composição fenólica individual dos resíduos de caju do Cerrado de diferentes cores durante a simulação da digestão gastrointestinal *in vitro*. Isoquercetina (a), p-cumárico (b) e rutina (c). Índice de bioacessibilidade dos compostos fenólicos após o processo de digestão *in vitro* dos resíduos de caju do Cerrado (d).



Resultados expressos em média \pm DP em base seca (n=3). Letras minúsculas diferem estatisticamente entre as amostras de resíduo ($p < 0,05$). RCA: Resíduo de caju amarelo; RCL: Resíduo de caju laranja e RCV: Resíduo de caju vermelho. Letras maiúsculas mostram as diferenças significativa da amostra de resíduo de caju durante as fases de digestão pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

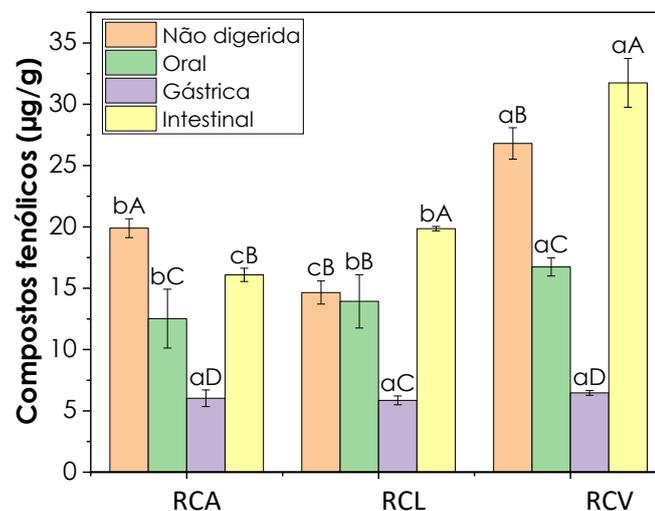
Para as alterações dos compostos fenólicos individuais nos resíduos de caju durante a simulação da digestão gastrointestinal *in vitro*, foi calculado o índice de bioacessibilidade após a digestão completa, conforme apresentado na Figura 1 (d). A amostra RCA exibiu o maior índice de bioacessibilidade para o ácido p-cumárico (176,25%). No caso da amostra de resíduo laranja (RCL), a rutina mostrou uma bioacessibilidade de 61,51%, enquanto na amostra vermelha (RCV), tanto a rutina (61,38%) quanto a isoquercetina (44,56%) foram consideradas bioacessíveis.

É importante salientar que as diversas alterações que ocorrem durante a exposição às condições gástricas e intestinais (pH e enzimas), podem aumentar ou

diminuir a solubilidade destes compostos, e conseqüentemente, afetar a bioacessibilidade. A bioacessibilidade dos flavonoides também pode ser afetada pelo processamento, devido as mudanças no ambiente e na microestrutura da matriz alimentar (Dutra *et al.*, 2017; Lucas-Gonzalez *et al.*, 2016). De acordo com Dutra *et al.* (2017) a alta bioacessibilidade de alguns ácidos fenólicos pode estar relacionado aos rearranjos químicos de alguns compostos.

A Figura 2 representa a soma dos compostos fenólicos individuais após o processo de digestão gastrointestinal *in vitro* dos resíduos do caju do Cerrado. A amostra RCA apresentou a maior ($p < 0,05$) concentração de fenólicos na amostra não digerida ($19,90 \pm 0,77 \mu\text{g/g}$) e na fase intestinal ($16,09 \pm 0,54 \mu\text{g/g}$), enquanto a amostra RCL obteve a maior concentração na fase intestinal ($19,86 \pm 0,18 \mu\text{g/g}$). A amostra RCV apresentou os maiores valores de compostos fenólicos na amostra não digerida e em todas as três fases avaliadas.

Figura 2 - Soma dos compostos fenólicos individuais dos resíduos de caju, durante a digestão gastrointestinal *in vitro* e amostras controle.



Resultados expressos em média \pm DP ($n=3$). Letras minúsculas diferem estatisticamente entre as amostras ($p < 0,05$). RCA: Resíduo de caju amarelo; RCL: Resíduo de caju laranja e RCV: Resíduo de caju vermelho. Letras maiúsculas indicam diferença estatística ($p < 0,05$) para cada etapa da digestão de cada amostra pelo teste Tukey.

3.3.EFEITO DA DIGESTÃO IN VITRO SOBRE OS MINERAIS E SUA BIOACESSIBILIDADE

Os minerais desempenham um papel crucial no corpo humano, sendo essenciais para a manutenção de diversos processos. No entanto, como o organismo

humano não é capaz de sintetizá-los, é necessário obtê-los por meio de fontes exógenas, sendo a dieta a principal fonte (Schulz *et al.*, 2020). A composição elementar dos três bagaços de caju, RCA, RCL e RCV, e suas frações digeridas é apresentada na Tabela 2.

No RCA foi detectado fósforo (P), magnésio (Mg), cálcio (Ca) e zinco (Zn). Enquanto nas amostras RCL e RCV, além desses macrossubstâncias foram detectados manganês (Mn), ferro (Fe), cobre (Cu), cromo (Cr), cádmio (Cd) e alumínio (Al) em algumas fases da digestão. Entre todos os minerais analisados, Ca, Mg e P foram os mais bioacessíveis.

Cálcio foi encontrado em alta concentração em todas as amostras, RCA, RCL e RCV. Foi observado durante a digestão *in vitro* que houve aumento do teor de cálcio na fase de digestão gástrica, porém, houve uma redução na fase intestinal. O cálcio tem como principais funções contribuir com a coagulação sanguínea e participar do controle hormonal, sendo que a sua função principal é estruturar ossos e dentes. Durante a digestão, o cálcio precisa se tornar solúvel e permanecer solúvel no intestino para ser absorvido pelo organismo (Silva *et al.*, 2017).

Os teores de P também foram elevados, apresentando maiores concentrações na fase gástrica para as amostras RCL e RCV. A biodisponibilidade da fração do fósforo absorvida no trato gastrointestinal e disponível na circulação sistêmica pode ser afetada pela barreira intestinal (Chande *et al.*, 2021). O menor teor de minerais encontrado na fase intestinal pode estar relacionado à presença de alguns agentes quelantes nos fluidos digestivos, que também podem interferir na sua absorção. Alguns minerais podem ter sido perdidos nas amostras residuais (fração não extraível) ou precipitados até certo ponto durante a passagem gastrointestinal simulada (Silva Haas, da *et al.*, 2019). Cálcio e fósforo desempenham um papel importante na mineralização óssea, sendo que o cálcio influencia a absorção de fósforo e vice-versa (Venema, Verhoeven e Verbruggen, 2020).

Em relação ao magnésio, a amostra RCA apresentou um maior teor na fase intestinal, enquanto as amostras RCL e RCV tiveram aumento na fase gástrica e redução na fase intestinal do teor deste mineral. O Mg é um dos nutrientes essenciais que está envolvido em várias atividades fisiológicas e no metabolismo celular do corpo humano (He *et al.*, 2023). De acordo com Ayuk e Gittoes (2014), a absorção de magnésio ocorre principalmente no íleo e no cólon. O magnésio também faz parte da estrutura óssea mineral juntamente com o cálcio e o fósforo e atua nos processos em

que acontece a troca desses minerais entre os ossos e os tecidos (Premaor e Brondani, 2016).

O Zn foi encontrado na amostra não digerida do RCA e na fase gástrica da amostra RCL, enquanto para a amostra RCV, o Zn foi encontrado na amostra não digerida e na fase gástrica. Parte do zinco endógeno é continuamente excretada no lúmen intestinal, sendo parte reabsorvida, enquanto o restante, variando de 0,8 mg a 2,7 mg de zinco por dia, é excretado nas fezes (Maares e Haase, 2020).

Um comportamento semelhante foi observado para outros minerais (manganês, ferro, cobre, cromo, cádmio, alumínio), onde a absorção ocorreu apenas na etapa de digestão gástrica. Esse comportamento sugere que esses minerais não foram bioacessíveis após a digestão simulada na fase intestinal. Suas concentrações em todas as amostras digeridas foram menores do que o limite de detecção do método, indicando que esses elementos têm baixa bioacessibilidade ou podem estar presentes em níveis traços no final da digestão. Resultados similares foram encontrados no estudo de Ferreira *et al.* (2022) que avaliaram a bioacessibilidade *in vitro* dos micro minerais da polpa e casca do fruto do Cerrado mirindiba (*Buchenavia tomentosa* Eichler) e verificaram que todos os micronutrientes, Fe, Cu, Zn e Mn, apresentaram concentrações inferiores ao limite de quantificação em relação aos teores bioacessíveis.

Em relação à bioacessibilidade dos minerais, notou-se que o Ca e o Mg tiveram maior bioacessibilidade para o resíduo de caju amarelo (RCA), seguido do resíduo laranja (RCL) e resíduo vermelho (RCV), respectivamente. Esses minerais apresentaram bioacessibilidade acima de 100 %, com exceção para o resíduo de caju vermelho (RCV). Já o fósforo foi mais bioacessível na amostra RCL.

No estudo de Gomes *et al.* (2019), avaliando a bioacessibilidade dos minerais de variedades de uva através da digestão *in vitro* simulada, foi observado comportamento similar ao observado para o resíduo de caju. Foi observado que para uva inteira, além da casca e polpa da variedade bordô, o Ca também foi o macroelemento mais bioacessível. E em relação aos micronutrientes, o Zn foi um dos poucos quantificados na amostra digerida.

Esses resultados mostram que a digestão *in vitro* das amostras do resíduo de caju do Cerrado contribuiu de formas diferentes para liberação dos minerais e podem colaborar para o entendimento das possíveis interações entre o processo digestivo relacionados à matriz alimentar.

Tabela 2 - Composição e bioacessibilidade de minerais em resíduos de caju do Cerrado de diferentes cores (amarelo, laranja e vermelho) durante as fases de digestão gastrointestinal *in vitro*.

	Minerais (µg/g)									
	P	Mg	Ca	Zn	Mn	Fe	Cu	Cr	Cd	Al
NRCA	6896,69 ^{aA} ±1547,19	902,35 ^{cB} ±15,88	3256,32 ^{cC} ± 41,16	768,65 ^a ±213,80	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD
ORCA	1796,56 ^{bB} ± 39,81	382,07 ^{cD} ± 2,09	1267,50 ^{bD} ± 18,15	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD
GRCA	2872,20 ^{cB} ± 140,81	716,11 ^{bC} ± 22,30	9804,15 ^{aA} ± 64,98	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD
IRCA	1696,13 ^{aB} ± 140,89	1032,95 ^{aA} ± 17,87	5335,62 ^{aB} ± 82,01	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD
BRCA	24,59	114,47	163,85	-	-	-	-	-	-	-
NRCL	2530,21 ^{bB} ± 1851,83	943,96 ^{bB} ± 16,53	4260,41 ^{bB} ± 86,80	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD
ORCL	2170,27 ^{aB} ± 23,59	513,96 ^{bC} ± 4,91	1485,76 ^{aC} ± 18,12	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD
GRCL	22362,80 ^{bA} ± 3383,74	1246,98 ^{aA} ± 156,12	9731,28 ^{aA} ± 499,24	2536,65 ^b ± 421,98	1028,66 ^b ± 189,67	7760,97 ^b ± 1462,64	180,29 ^b ± 35,25	2810,81 ^b ± 527,46	3274,52 ^a ± 497,58	1274,05 ^b ± 248,85
IRCL	1796,98 ^{aB} ± 110,57	965,10 ^{bB} ± 6,36	4628,22 ^{bB} ± 68,12	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD
BRCL	71,02	102,24	108,63	-	-	-	-	-	-	-
NRCV	9232,83 ^{aB} ±1018,36	1086,88 ^{aA} ± 16,38	6317,09 ^{aB} ± 87,52	950,40 ^{aB} ± 124,09	298,57 ^{aB} ± 79,33	2383,39 ^{aB} ± 536,01	< LOD	< LOD	908,59 ^{aB} ± 119,55	< LOD
ORCV	2217,43 ^{aC} ± 70,23	577,30 ^{aC} ± 11,12	1536,07 ^{aD} ± 32,41	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD
GRCV	31496,42 ^{aA} ± 4564,51	1134,22 ^{aA} ± 65,26	8124,01 ^{bA} ± 142,85	3922,26 ^{aA} ± 573,17	1972,62 ^{aA} ± 224,92	14274,40 ^a A± 1657,63	5072,06 ^a ± 729,77	5072,06 ^a ± 729,77	2445,11 ^{aA} ± 406,72	2261,49 ^a ± 310,97
IRCV	1752,70 ^{aC} ± 118,52	930,76 ^{cB} ± 13,91	4758,74 ^{bC} ± 44,20	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD
BRCV	18,98	85,64	77,54	-	-	-	-	-	-	-

*Valores médios ± desvio padrão. Letras minúsculas mostram diferença significativa entre os minerais das diferentes cores de resíduo de caju pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas mostram as diferenças significativa da amostra de resíduo de caju durante as fases de digestão pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). NRCA; NRCL; NRCV: amostra não digerida resíduo de caju amarelo, laranja e vermelho. ORCA; ORCL; ORCV: fase oral do resíduo de caju amarelo, laranja e vermelho, respectivamente. GRCA; GRCL; GRCV: fase gástrica do resíduo de caju amarelo, laranja e vermelho, respectivamente. IRCA; IRCL; IRCV: fase intestinal do resíduo de caju amarelo, laranja e vermelho, respectivamente. BRCA; BRCL; BRCV: bioacessibilidade do resíduo de caju amarelo, laranja e vermelho expresso em porcentagem, respectivamente. LOD: limite de detecção.

4. CONCLUSÃO

O presente estudo avaliou a influência da digestão gastrointestinal *in vitro* sobre os compostos fenólicos totais, capacidade antioxidante, bem como a bioacessibilidade dos polifenóis individuais e minerais dos resíduos de caju do Cerrado. Foi observado um aumento dos compostos fenólicos totais para as amostras RCA, RCL e RCV durante a digestão gastrointestinal *in vitro*. A atividade antioxidante, determinada pelo método ABTS, foi mais alta também em todas as amostras, digeridas na fase intestinal. Os compostos isoquercetina, rutina e p-cumárico permaneceram nas amostras após a digestão gastrointestinal, indicando que a bioacessibilidade dos compostos fenólicos presentes nos resíduos de caju foi dependente da amostra e da fase digestiva avaliada. O ácido p-cumárico apresentou o maior índice de bioacessibilidade para ambas as amostras RCA, RCL e RCV. Já em relação aos minerais, o Ca e Mg apresentaram o maior índice de bioacessibilidade para as amostras de resíduos. As informações aqui relatadas contribuem para o conhecimento da biodisponibilidade e bioacessibilidade de fenólicos e minerais presentes no resíduo de caju do Cerrado, como uma oportunidade futura para o desenvolvimento de alimentos nutracêuticos e funcionais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Até o presente momento não foram relatados outros estudos com foco no potencial nutricional do resíduo do pseudofruto de caju do Cerrado (*A. othonianum* Rizz.) com diferentes cores. Os resultados obtidos neste estudo mostraram que os resíduos de caju do Cerrado constituem fontes de fibras alimentares, vitamina C, potássio, cálcio, fósforo e ferro, com propriedades tecnológicas satisfatórias, independente da cor. A amostra de resíduo de caju do Cerrado vermelha (RCV) foi a que mais se destacou em relação ao teor de compostos fenólicos totais, flavonoides, antocianinas e capacidade antioxidante.

O delineamento composto central permitiu a otimização do pH, tempo de extração e temperatura de extração, levando a uma extração ótima de polifenóis em pH 5,5, com tempo de extração de 120 min e temperatura de 55°C. A amostra RCA se destacou em relação aos compostos fenólicos, com os polifenóis majoritários, miricetina, ácido vanílico e o ácido gálico, além de apresentar os melhores resultados para carotenoides totais.

Para a digestão gastrointestinal *in vitro*, o foco principal foi caracterizar o potencial nutricional e bioativo do resíduo de caju (*A. othonianum*) para os compostos fenólicos totais e capacidade antioxidante, além da bioacessibilidade de minerais e fenólicos individuais. Todas as amostras apresentaram maior teor de compostos fenólicos após a digestão gástrica e intestinal. A maior capacidade antioxidante avaliada pelo método ABTS foi observada em todas as amostras na fase intestinal, enquanto que para método redutor férrico (FRAP), foi observado uma maior atividade antioxidante na fase gástrica. Para os fenólicos individuais, a maior bioacessibilidade foi para o ácido p-cumárico na amostra RCA e a menor bioacessibilidade foi para a isoquercetina na amostra RCV. Na bioacessibilidade dos minerais, o Ca e o Mg tiveram uma maior bioacessibilidade para o resíduo de caju amarelo (RCA).

Diante do exposto, pode-se concluir que este estudo fornece informações valiosas sobre o potencial bioativo e as propriedades nutricionais do resíduo de caju do Cerrado e, assim, incentiva seu uso sustentável na área de ciência e tecnologia de alimentos. O conhecimento em relação a bioacessibilidade de fenólicos e minerais presentes no resíduo de caju abre caminhos para o desenvolvimento futuro de alimentos funcionais. De uma forma geral, a valorização dos subprodutos de frutas nativas tem grande importância e interesse biotecnológico para as indústrias e

pesquisas científicas, principalmente por favorecer a sustentabilidade, valorizando o bioma Cerrado e diminuindo o impacto ambiental.

Como trabalhos futuros, sugere-se o desenvolvimento de novos produtos com a utilização do resíduo de caju *Anacardium othonianum* Rizz. Uma vez que esses resíduos podem ser fontes de compostos benéficos a saúde humana, além de agregar valor para a indústria de alimentos, também como fonte de aditivos alimentares.

REFERÊNCIAS

- AACCI. American Association of Cereal Chemists International. **Approved Methods of Analysis**. 11 th ed. St Paul, MN, USA: AACCI International, 2010.
- ABBASPOUR, N.; HURRELL, R.; KELISHADI, R. Review on iron and its importance for human health. **Journal of Research in Medical Sciences**, p. 3–11, 2014.
- ACOSTA-ESTRADA, B. A.; GUTIÉRREZ-URIBE, J. A.; SERNA-SALDÍVAR, S. O. Bound phenolics in foods, a review. **Food Chemistry**, v. 152, p. 46–55, 2014.
- AGOSTINI-COSTA, T. DA S. *et al.* Caju do Cerrado. *Em: Frutas Nativas da Região Centro-oeste do Brasil*. [s.l: s.n.]. p. 136–151.
- AGREGÁN, R. *et al.* Recent advances in the extraction of polyphenols from eggplant and their application in foods. **LWT**, v. 146, p. 111381, jul. 2021.
- ALMEIDA, J. DOS S. O. DE *et al.* Feijoa (*Acca sellowiana*) peel flours: A source of dietary fibers and bioactive compounds. **Food Bioscience**, v. 38, p. 100789, 1 dez. 2020.
- ALVAREZ-SUAREZ, J. M. *et al.* Novel approaches in anthocyanin research - Plant fortification and bioavailability issues. **Trends in Food Science and Technology**, v. 117, n. October 2020, p. 92–105, 2021.
- ALVES, A. M. *et al.* Ascorbic acid and phenolic contents, antioxidant capacity and flavonoids composition of Brazilian savannah native fruits. **Food Science and Technology**, v. 37, n. 4, p. 564–569, 2017.
- ALVES, M. S. O.; ALVES, A. M.; NAVES, M. M. V. Compostos bioativos e atividade antioxidante de pseudofrutos de caju arbóreo do Cerrado. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v. 72, n. 4, p. 327–331, 2013.
- AMARAL, S. MARIA B. *et al.* PÓ DE RESÍDUO DE POLPA DE CAJU: PROCESSAMENTO E CARACTERIZAÇÃO Data. **Atena Editora**, n. capítulo 12, p. 140–152, 2020.
- AMARIZ, A.; LIMA, M. A. C. DE; ALVES, R. E. Quality and antioxidant potential of byproducts from refining of fruit pulp. **Food Science and Technology**, v. 38, n. 2, p. 203–209, 2018.
- AMRAN, M. A. *et al.* Value-added metabolites from agricultural waste and application of green extraction techniques. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 20, p. 1–28, 2021.

- ANDRADE, I. M. *et al.* A morphometric study of the restinga ecotype of *Anacardium occidentale* (Anacardiaceae): wild coastal cashew populations from Piauí, Northeast Brazil. **Research Paper**, v. 130, p. 89–116, 2019.
- ANDRADE, R. A. M. DE S. *et al.* Optimization of the extraction process of polyphenols from cashew apple agro-industrial residues. **Food Science and Technology**, v. 35, n. 2, p. 354–360, 2015.
- AOAC. **AOAC: Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis.** (17) ed. Virginia: [s.n.].
- ARAÚJO, F. F. DE *et al.* Wild Brazilian species of *Eugenia genera* (Myrtaceae) as an innovation hotspot for food and pharmacological purposes. **Food Research International**, v. 121, n. October 2018, p. 57–72, 2019.
- ARAÚJO, F. F. *et al.* Gastrointestinal bioaccessibility and bioactivity of phenolic compounds from araçá-boi fruit. **LWT**, v. 135, n. September 2020, 2021.
- ARAÚJO PADILHA, C. E. DE *et al.* Valorization of cashew apple bagasse using acetic acid pretreatment: Production of cellulosic ethanol and lignin for their use as sunscreen ingredients. **Process Biochemistry**, v. 91, n. May 2019, p. 23–33, 2020.
- ARRUDA, H. S. Potential of the Brazilian Cerrado Fruits in Food Science and Nutrition. **EC Nutrition**, v. 7, n. 1, p. 1–2, 2017.
- ARRUDA, H. S.; ARAÚJO, M. V. L.; MAROSTICA JUNIOR, M. R. Underexploited Brazilian Cerrado fruits as sources of phenolic compounds for diseases management: A review. **Food Chemistry: Molecular Sciences**, v. 5, n. November, 2022.
- ASSIS, K. C. DE *et al.* Rendimento de explantes e estabelecimento in vitro de segmentos nodais de *Anacardium othonianum* Rizz., oriundos de sementes armazenadas por diferentes períodos. **Global Science and Technology**, v. 4, n. 1, p. 1–7, 2011.
- AYALA-ZAVALA, J. F. *et al.* Agro-industrial potential of exotic fruit byproducts as a source of food additives. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 1866–1874, 2011.
- AYUK, J.; GITTOES, N. J. L. Contemporary view of the clinical relevance of magnesium homeostasis. v. 51, n. 2, p. 179–188, 2014.
- BARBA, F. J. *et al.* Bioaccessibility of bioactive compounds from fruits and vegetables after thermal and nonthermal processing. **Trends in Food Science & Technology**, v. 67, p. 195–206, set. 2017.

- BARROS, R. G. C. *et al.* Evaluation of bioactive compounds potential and antioxidant activity in some Brazilian exotic fruit residues. **Food Research International**, v. 102, n. September, p. 84–92, 2017.
- BARROS, R.G.C. *et al.* In vitro gastrointestinal digestion and probiotics fermentation impact on bioaccessibility of phenolics compounds and antioxidant capacity of some native and exotic fruit residues with potential antidiabetic effects. **Food Research International**, v. 136, n. May, p. 109614, 2020.
- BATISTA, K. S. *et al.* Beneficial effects of consumption of acerola, cashew or guava processing by-products on intestinal health and lipid metabolism in dyslipidaemic female Wistar rats. **British Journal of Nutrition**, v. 119, n. 1, p. 30–41, 2018.
- BELO, A. P. M. *et al.* Fenologia, biometria e precocidade de plantas de caju arbóreo do cerrado (*Anacardium othonianum* Rizz.). **Ciência Florestal**, v. 29, n. 4, p. 1672–1684, 2019.
- BELTRAN, L. B. *et al.* Evaluation of antioxidant capacity and technological properties of fruit flour of Palm *Aiphanes aculeata*. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 4, p. 36868–36884, 2021.
- BENDOKAS, V. *et al.* Anthocyanins: From plant pigments to health benefits at mitochondrial level. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 60, n. 19, p. 3352–3365, 2020.
- BENMEZIANE, A.; BOULEKBACHE-MAKHLOUF, L.; MAPELLI-BRAHM, P. Extraction of carotenoids from cantaloupe waste and determination of its mineral composition. **Food Research International**, v. 111, p. 391–398, 2018.
- BENZIE, I. F. F.; STRAIN, J. J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: The FRAP assay. **Analytical Biochemistry**, v. 239, n. 1, p. 70–76, 1996.
- BERES, C. *et al.* Antioxidant dietary fibre from grape pomace flour or extract: Does it make any difference on the nutritional and functional value? **Journal of Functional Foods**, v. 56, n. December 2018, p. 276–285, 2019.
- BESSA, L. A. *et al.* Morphoanatomical characteristics of leaves of *Anacardium othonianum* seedlings subjected to different nitrogen doses under hydroponic conditions. **Australian Journal of Botany**, v. 65, p. 524–537, 2017.
- Bessa, L. A. *et al.* The influence of nitrogen in nutrient solution on growth, nutrient uptake and enzymatic activity of *Anacardium othonianum* Rizz. **Current Science**, v. 117, n. 12, p. 2023–2033, 2019.

- BHATT, S.; GUPTA, M. Dietary fiber from fruit waste as a potential source of metabolites in maintenance of gut milieu during ulcerative colitis: A comprehensive review. **Food Research International**, v. 164, n. November 2022, p. 112329, 2023.
- BIRCH, C. S.; BONWICK, G. A. Ensuring the future of functional foods. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 54, n. 5, p. 1467–1485, 2019.
- BISPO, T. W. *et al.* CADEIAS PRODUTIVAS DOS FRUTOS NATIVOS DO CERRADO: estudo de caso sobre o agroextrativismo no Vale do Rio Urucua em Minas Gerais e no Sul Maranhense The productive chains of the cerrado's native fruits and their specificities. **Informe GEPEC**, v. 25, p. 133–152, 2021.
- BLANCO CANALIS, M. S. *et al.* Effect of peach puree incorporation on cookie quality and on simulated digestion of polyphenols and antioxidant properties. **Food Chemistry**, v. 333, n. June, p. 127464, 2020.
- BLUMENKRANTZ, N.; ASBOE-HANSEN, G. New Method for Quantitative-Determination of Uronic Acids. **Analytical Biochemistry**, v. 54, n. 2, p. 484–489, 1973.
- BORGES, M. V. *et al.* Propriedades físico-químicas e tecnológicas da farinha do resíduo de açaí e sua utilização. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, 2021.
- BORGES, P. R. S. *et al.* The bioactive constituents and antioxidant activities of ten selected Brazilian Cerrado fruits. **Food Chemistry: X**, v. 14, n. February, 2022.
- BOST, M. *et al.* Dietary copper and human health: Current evidence and unresolved issues. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 35, p. 107–115, 2016.
- BRAMONT, W. B. *et al.* Comparison of the centesimal, mineral and phytochemical composition of pulps and peel of ten different fruits. **Revista Virtual de Química**, v. 10, n. 4, p. 811–823, 2018.
- BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Respostas Perceptivas E. **LWT - Food Science and Technology**, v. 28, n. 1, p. 25–30, 1995.
- BRASIL. Resolução nº. 269: Regulamento técnico sobre a ingestão diária recomendada de proteínas, vitaminas e minerais. 2005.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Visão geral das florestas brasileiras: 2019/ Serviço Florestal Brasileiro. 1º. Ed. Brasília- DF Brasil: **Biblioteca Nacional Agropecuária- BINAGRI**, 2019.

- CAO, Q. *et al.* Phenolic compounds, bioactivity, and bioaccessibility of ethanol extracts from passion fruit peel based on simulated gastrointestinal digestion. **Food Chemistry**, v. 356, n. May 2020, p. 129682, 2021.
- CARDOSO, L. D. M. *et al.* Mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes) from the Brazilian Cerrado: Nutritional value, carotenoids and antioxidant vitamins. **Fruits**, v. 69, n. 2, p. 89–99, 2014.
- CARVALHO, D. V. *et al.* Influence of low molecular weight compounds associated to cashew (*Anacardium occidentale* L.) fiber on lipid metabolism, glycemia and insulinemia of normal mice. **Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre**, v. 13, p. 1–6, 2018.
- CARVALHO, D. V. *et al.* Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre Influence of low molecular weight compounds associated to cashew (*Anacardium occidentale* L.) fiber on lipid metabolism, glycemia and insulinemia of normal mice. **Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre**, v. 13, p. 1–6, 2018.
- CARVALHO, I. S. DE *et al.* How does the fire regime change after creating a protected area in the Brazilian Cerrado? **Journal for Nature Conservation**, v. 71, n. November 2022, 2023.
- CAVALCANTE, J. B. Meio ambiente e agricultura: uma análise sobre o cerrado brasileiro e as políticas para proteção ambiental. **Revista Economia Política Do Desenvolvimento**, v. 9, n. 21, p. 80–97, 2018.
- CHANDE, S. *et al.* Phosphorus bioaccessibility measured in four amino acid–based formulas using in-vitro batch digestion translates well into phosphorus bioavailability in mice. **Nutrition**, v. 89, p. 111291, 2021.
- CHEMAT, F. *et al.* 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, Q. *et al.* Profiling of flavonoid and antioxidant activity of fruit tissues from 27 Chinese local citrus cultivars. **Plants**, v. 9, n. 2, p. 1–18, 2020.
- CHEONG, K. L. *et al.* A Comprehensive Review of the Cardioprotective Effect of Marine Algae Polysaccharide on the Gut Microbiota. **Foods**, v. 11, n. 22, p. 1–15, 2022.
- COELHO, M. C. *et al.* Integral valorisation of tomato by-products towards bioactive compounds recovery: Human health benefits. **Food Chemistry**, v. 410, n. December 2022, p. 135319, 2023.

- CÖMERT, E. D.; MOGOL, B. A.; GÖKMEN, V. Relationship between color and antioxidant capacity of fruits and vegetables. **Current Research in Food Science**, v. 2, p. 1–10, 1 jun. 2020.
- CORREA, G. D. C. *et al.* Determinações físicas em frutos e sementes de baru (*Dipteyx alata* Vog.), cajuzinho (*Anacardium othonianum* Rizz.) e pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) visando melhoramento genético. **Journal Bioscience**24, v. 24, n. 4, p. 42–47, 2008.
- CRIZEL, T. DE M. *et al.* Evaluation of bioactive compounds, chemical and technological properties of fruits byproducts powder. **Journal of Food Science and Technology**, v. 53, n. 11, p. 4067–4075, 2016.
- CRUZ, J. E. R. DA *et al.* Phytochemical Analysis and Evaluation of Antimicrobial Activity of *Peumus boldus*, *Psidium guajava*, *Vernonia polysphaera*, *Persea Americana*, *Eucalyptus citriodora* Leaf Extracts and *Jatropha multifida* Raw Sap. **Current Pharmaceutical Biotechnology**, v. 20, n. 5, p. 433–444, 2019.
- CUNHA, J. A. DA *et al.* From seed to flour: Sowing sustainability in the use of cantaloupe melon residue (*Cucumis melo* L. var. *reticulatus*). **Plos One**, v. 151, p. 1–18, 2020.
- CURADO, F. M. L. M. J. *et al.* Antifungal and cytotoxicity activities of *Anacardium othonianum* extract. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 10, n. 29, p. 450–456, 2016.
- DAS, I.; ARORA, A. Post-harvest processing technology for cashew apple – A review. **Journal of Food Engineering**, v. 194, p. 87–98, 2017.
- DAS, S.; NADAR, S. S.; RATHOD, V. K. Integrated strategies for enzyme assisted extraction of bioactive molecules: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 191, n. September, p. 899–917, 2021.
- DAVIES, B. H. Carotenoids. *Em: Goodwin, T.W. Chemistry and biochemistry of plant pigments*. 2 rd ed. London: Academic Press, 1976. p. 38–65.
- DHINGRA, D. *et al.* Dietary fibre in foods: a review. **J Food Sci Technol**, v. 49, n. 3, p. 255–266, 2012.
- DIAS, L. C. C.; MOSCHINI, L. E.; TREVISAN, D. P. A influência das atividades antrópicas na paisagem da área de proteção ambiental estadual do Rio Pandeiros, MG - Brasil. **Fronteiras**, v. 6, n. 2, p. 85–105, 2017.
- Dietary Reference Intakes for Vitamin C, Vitamin E, Selenium, and Carotenoids. [s.l.] **National Academies Press**, 2000.

- DJAOUDENE, O. *et al.* Phenolic profile, antioxidant activity and enzyme inhibitory capacities of fruit and seed extracts from different Algerian cultivars of date (*Phoenix dactylifera* L.) were affected by in vitro simulated gastrointestinal digestion. **South African Journal of Botany**, v. 137, p. 133–148, 2021.
- DOMÍNGUEZ-RODRÍGUEZ, G.; MARINA, M. L.; PLAZA, M. In vitro assessment of the bioavailability of bioactive non-extractable polyphenols obtained by pressurized liquid extraction combined with enzymatic-assisted extraction from sweet cherry (*Prunus avium* L.) pomace. **Food Chemistry**, v. 385, n. March, p. 132688, 2022.
- DONADO-PESTANA, C. M. *et al.* Cagaita fruit (*Eugenia dysenterica* DC.) and obesity: Role of polyphenols on already established obesity. **Food Research International**, v. 103, n. May 2017, p. 40–47, 2018.
- DURÁN-CASTAÑEDA, A. C. *et al.* Bioaccessibility of phenolic compounds in *Psidium guajava* L. varieties and *P. friedrichsthalianum* Nied. after gastrointestinal digestion. **Food Chemistry**, v. 400, n. August 2022, 2023.
- DURMUS, N.; KILIC-AKYILMAZ, M. Bioactivity of non-extractable phenolics from lemon peel obtained by enzyme and ultrasound assisted extractions. **Food Bioscience**, v. 53, n. March, p. 102571, 2023a.
- DUTRA, R. L. T. *et al.* Bioaccessibility and antioxidant activity of phenolic compounds in frozen pulps of Brazilian exotic fruits exposed to simulated gastrointestinal conditions. **Food Research International**, v. 100, n. May, p. 650–657, 2017.
- DUTRA, R. M. S.; SOUZA, M. M. O. DE. Agroextrativismo e geopolítica da natureza: alternativa para o Cerrado na perspectiva analítica da cienciometria. **Ateliê Geográfico**, v. 11, n. 3, p. 110, 2017.
- ELLEUCH, M. *et al.* Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review **Food Chemistry Elsevier**, v. 124, Ed. 2. p. 411-421, 2011.
- ENCARNAÇÃO, S. *et al.* Total phenolic content, antioxidant activity and pre-clinical safety evaluation of an *Anacardium occidentale* stem bark Portuguese hypoglycemic traditional herbal preparation. **Industrial Crops and Products**, v. 82, p. 171–178, 2016.
- ESCOBAR, N. *et al.* Spatially-explicit footprints of agricultural commodities: Mapping carbon emissions embodied in Brazil's soy exports. **Global Environmental Change**, v. 62, n. May, p. 102067, 2020.

- FARIAS, D. P. *et al.* Effect of in vitro digestion on the bioaccessibility and bioactivity of phenolic compounds in fractions of *Eugenia pyriformis* fruit. **Food Research International**, v. 150, n. September, 2021.
- FERNÁNDEZ-GARCÍA, E.; CARVAJAL-LÉRIDA, I.; PÉREZ-GÁLVEZ, A. In vitro bioaccessibility assessment as a prediction tool of nutritional efficiency. **Nutrition Research**, v. 29, n. 11, p. 751–760, nov. 2009.
- FERREIRA, B. A. *et al.* In vitro bioaccessibility of the bioactive compounds and minerals in the pulp and peel of *Buchenavia tomentosa* Eichler fruits and their antioxidant capacities. **Measurement: Food**, v. 8, n. May 2021, p. 100064, 2022.
- FILHO, A. F. S. *et al.* Avaliação da extração assistida por ultrassom de compostos bioativos das folhas de chicória (*Eryngium foetidum* L.) e cariru (*Talinum triangulare* Jacq. Willd) / Evaluation of ultrasound-assisted extraction of bioactive compounds from amazonian chicory (Ery. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 12, p. 118256–118270, 2021.
- FINES, B.; CURVO, L. R. V. Revista DELOS. **Revista Delos Desarrollo Local Sostenible**, v. 12, n. 35, p. 1–17, 2019.
- FONSECA, C. M. *et al.* logurte produzido com cajuí (*Anacardium othonianum* Rizz). **Ciências Agrárias**, v. 35, n. 4, p. 1829–1836, 2014.
- FORTES, R. R. *et al.* Caracterização física e química de farinha de arroz, farinhas de cascas de abacaxi e banana e farinha de sementes de abóbora. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, 2020.
- FREITAS, B. S. M. DE *et al.* Cerrado cashew (*Anacardium othonianum* Rizz) apple pomace: chemical characterization and optimization of enzyme-assisted extraction of phenolic compounds. **Food Science and Technology**, v. 2061, p. 1–9, 2023.
- FU, X. *et al.* Natural deep eutectic solvent enhanced pulse-ultrasonication assisted extraction as a multi-stability protective and efficient green strategy to extract anthocyanin from blueberry pomace. **LWT**, v. 144, p. 111220, jun. 2021.
- GAMBIN, L. D. B. *et al.* Phenolic compounds from feijoa (*Acca sellowiana*) fruits: Ultrasound-assisted extraction and antiproliferative effect on cutaneous melanoma cells (SK-MEL-28). **Food Bioscience**, p. 103078, 2023.
- GARCIA, D. M. *et al.* Determinação de características tecnológicas de farinhas produzidas a partir de resíduos de polpas de mamão, melão e goiaba e sua utilização na elaboração de biscoitos tipo cookies. **ScientiaTec: Revista de Educação, Ciência e Tecnologia do IFRS**, v. 4, n. 1, 2017.

- GAZOLLA, A. P. *et al.* The influence of light quality on phenolic acid and biflavonoid production in *Anacardium othonianum* Rizz. seedlings grown in vitro. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n. 5, p. 528–534, 2017.
- GHARIBZAHEDI, S. M. T.; JAFARI, S. M. Trends in Food Science & Technology The importance of minerals in human nutrition: Bioavailability, food fortification, processing effects and nanoencapsulation. **Trends in Food Science & Technology**, v. 62, p. 119–132, 2017.
- GILL, S. K. *et al.* Dietary fiber in gastrointestinal health and disease. **Nature Reviews Gastroenterology and Hepatology**, v. 18, n. 2, p. 101–116, 2021.
- GIUSTI, M. M. & WROLSTAD, R. E. Characterization and Measurement of Anthocyanins by UV-Visible Spectroscopy. p. 1–13, 2001.
- GLIGOR, O. *et al.* Enzyme-assisted extractions of polyphenols – A comprehensive review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 88, n. September 2018, p. 302–315, 2019.
- GOMES, T. M. *et al.* Differential contribution of grape peel, pulp, and seed to bioaccessibility of micronutrients and major polyphenolic compounds of red and white grapes through simulated human digestion. **Journal of Functional Foods**, v. 52, n. August 2018, p. 699–708, 2019.
- GÓMEZ-GARCÍA, R. *et al.* Impact of simulated in vitro gastrointestinal digestion on bioactive compounds, bioactivity and cytotoxicity of melon (*Cucumis melo* L. inodorus) peel juice powder. **Food Bioscience**, v. 47, n. April, 2022.
- GONÇALVES, L. G. V. *et al.* Biometria de frutos e sementes de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes) em vegetação natural na região leste de Mato Grosso, Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 36, n. 1, p. 31–40, 2013.
- GONZÁLEZ, M. J. A. *et al.* A comparison study between ultrasound–assisted and enzyme–assisted extraction of anthocyanins from blackcurrant (*Ribes nigrum* L.). **Food Chemistry**, v. 13, 2022.
- GOUW, V. P.; JUNG, J.; ZHAO, Y. Functional properties, bioactive compounds, and in vitro gastrointestinal digestion study of dried fruit pomace powders as functional food ingredients. **LWT - Food Science and Technology**, v. 80, p. 136–144, 1 jul. 2017.
- GRANADO-LORENCIO, F. *et al.* Comparative in vitro bioaccessibility of carotenoids from relevant contributors to carotenoid intake. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, n. 15, p. 6387–6394, 2007.

- GÜZEL, M.; AKPINAR, Ö. Food and Bioproducts Processing Valorisation of fruit by-products: Production characterization of pectins from fruit peels. **Food and Bioproducts Processing**, v. 115, p. 126–133, 2019.
- HARIS, S. *et al.* Characterization analysis of date fruit pomace: An underutilized waste bioresource rich in dietary fiber and phenolic antioxidants. **Waste Management**, v. 163, n. February, p. 34–42, 2023.
- HE, M. *et al.* Review on magnesium and magnesium-based alloys as biomaterials for bone immobilization. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 23, p. 4396–4419, 2023.
- HIDALGO, M.; SÁNCHEZ-MORENO, C.; PASCUAL-TERESA, S. DE. Flavonoid-flavonoid interaction and its effect on their antioxidant activity. **Food Chemistry**, v. 121, n. 3, p. 691–696, 2010.
- HU, Y. *et al.* Bioaccessibility and bioavailability of phytochemicals: Influencing factors, improvements, and evaluations. **Food Hydrocolloids**, v. 135, p. 108165, fev. 2023.
- IMRAN, M. *et al.* Myricetin: A comprehensive review on its biological potentials. **Food Science and Nutrition**, v. 9, n. 10, p. 5854–5868, 1 out. 2021.
- INADA, K. O. P. *et al.* Bioaccessibility of phenolic compounds of jaboticaba (*Plinia jaboticaba*) peel and seed after simulated gastrointestinal digestion and gut microbiota fermentation. **Journal of Functional Foods**, v. 67, n. November 2019, p. 103851, 2020.
- Institute of Medicine. National Academy of Sciences. **Dietary reference intakes for vitamin C, vitamin E, selenium, and carotenoids**. Washington, D.C.: National Academy Press; 2000. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25077263>. Acesso em: 18 de agosto. 2023.
- ISMAIL, B. B. *et al.* Investigating the effect of in vitro gastrointestinal digestion on the stability, bioaccessibility, and biological activities of baobab (*Adansonia digitata*) fruit polyphenolics. **Lwt**, v. 145, n. October 2020, 2021.
- IZIDORO, D. R. *et al.* Avaliação físico-química, colorimétrica e aceitação sensorial de emulsão estabilizada com polpa de banana verde. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v. 67, n. 3, p. 167–176, 2008.
- JEON, S. H. *et al.* Are There as Many Essential and Non-essential Minerals in Hydroponic Strawberry (*Fragaria ananassa* L.) Compared to Those Grown in Soil? **Biological Trace Element Research**, v. 187, n. 2, p. 562–567, 2019.

- JHA, A. K.; SIT, N. Extraction of bioactive compounds from plant materials using combination of various novel methods: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 119, p. 579–591, jan. 2022.
- JIANG, X. *et al.* The target cells of anthocyanins in metabolic syndrome. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 59, n. 6, p. 921–946, 2019.
- KAKKAR, S.; BAIS, S. A Review on Protocatechuic Acid and Its Pharmacological Potential. **International Scholarly Research Notice Pharmacology**, v. 2014, march 2014.
- KAUR, R. *et al.* Characterization of slow pyrolysis products from three different cashew wastes. **Bioresource Technology**, v. 376, n. January, p. 128859, 2023.
- KLIEMANN, E. *et al.* Optimisation of pectin acid extraction from passion fruit peel (*Passiflora edulis* flavicarpa) using response surface methodology. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 44, p. 476–483, 2009.
- KOEHNLEIN, E. A. *et al.* Analysis of a whole diet in terms of phenolic content and antioxidant capacity: effects of a simulated gastrointestinal digestion. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 67, n. 6, p. 614–623, 2016.
- KUMAR, R. R. *et al.* Iron and Zinc at a cross-road: A trade-off between micronutrients and anti-nutritional factors in pearl millet flour for enhancing the bioavailability. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 111, n. January, p. 104591, 2022.
- LEÃO, D. P. *et al.* Physicochemical characterization, antioxidant capacity, total phenolic and proanthocyanidin content of flours prepared from pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) fruit by-products. **Food Chemistry**, v. 225, p. 146–153, 2017.
- LEITE, N. D. *et al.* Farinha de arroz e berinjela em massa alimentícia: propriedades químicas e físicas. **Segurança Alimentar e Nutricional**, v. 25, n. 1, p. 65–75, 2018.
- LIMA, T. M. DE *et al.* *Rhizopus oligosporus* as a biotransforming microorganism of *Anacardium othonianum* Rizz. byproduct for production of high -protein, -antioxidant, and -fiber ingredient. **Lwt**, v. 135, n. May 2020, 2021.
- LUCAS-GONZALEZ, R. *et al.* Assessment of polyphenolic profile stability and changes in the antioxidant potential of maqui berry (*Aristotelia chilensis* (Molina) Stuntz) during in vitro gastrointestinal digestion. **Industrial Crops and Products**, v. 94, p. 774–782, 2016.
- MAARES, M.; HAASE, H. A guide to human zinc absorption: General overview and recent advances of in vitro intestinal models. **Nutrients**, v. 12, n. 3, 2020.

- MACHADO, M. T. C.; MELLO, B. C. B. S.; HUBINGER, M. D. Evaluation of pequi (*Caryocar Brasiliense* Camb.) aqueous extract quality processed by membranes. **Food and Bioproducts Processing**, v. 95, n. December 2013, p. 304–312, 2015.
- MAGALHÃES, M. P. D. *et al.* Obtenção da farinha do resíduo do processamento de acerola e avaliação de compostos bioativos e nutritivos. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 14, p. e188101420714, 2021.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. *Em: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA PESQUISA DA POTASSA E DO FOSFATO* (Ed.). 2.ed.rev. ed. Piracicaba: Potafós: [s.n.]. p. 319 p.
- MARATHE, S. J. *et al.* Improvements in the extraction of bioactive compounds by enzymes. **Current Opinion in Food Science**, v. 25, p. 62–72, fev. 2019.
- MARTELLO, F. *et al.* Landscape structure shapes the diversity of plant reproductive traits in agricultural landscapes in the Brazilian Cerrado. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 341, n. May 2022, 2023.
- MATTOS, G. N. *et al.* Anthocyanin Extraction from Jaboticaba Skin (*Myrciaria cauliflora* Berg.) Using Conventional and Non-Conventional Methods. 2022.
- MELTON, L. D.; SMITH, B. G. Isolation of Plant Cell Walls and Fractionation of Cell Wall Polysaccharides. **Cell Wall Polysaccharides**, v. 3, n. 1, p. 1–23, 2001.
- MENESES, V. P. DE *et al.* Subprodutos de frutas tropicais desidratados por secagem convectiva. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 13, n. 4, p. 472, 2018.
- MENEZES SILVA, J. V. *et al.* Ultrasound-assisted extraction using ethanol efficiently extracted carotenoids from peels of peach palm fruits (*Bactris gasipaes* Kunth) without altering qualitative carotenoid profile. **Heliyon**, v. 9, n. 4, 2023.
- MILLER, N. J. *et al.* A novel method for measuring antioxidant capacity and its application to monitoring the antioxidant status in premature neonates. **Clinical Science**, p. 407–412, 1993.
- MINEKUS, M. *et al.* A standardised static in vitro digestion method suitable for food-an international consensus. **Food and Function**, v. 5, n. 6, p. 1113–1124, 2014.
- MONFOULET, L.-E. *et al.* Effects of the apple matrix on the postprandial bioavailability of flavan-3-ols and nutrigenomic response of apple polyphenols in minipigs challenged with a high fat meal. **Food & Function**, v. 11, n. 6, p. 5077–5090, 2020.

- MOO-HUCHIN, V. M. *et al.* Antioxidant compounds, antioxidant activity and phenolic content in peel from three tropical fruits from Yucatan, Mexico. **Food Chemistry**, v. 166, p. 17–22, 1 jan. 2015.
- NAFFATI, A. *et al.* Recycling of filter tea industry by-products: Application of subcritical water extraction for recovery of bioactive compounds from *A. uva-ursi* herbal dust. **Journal of Supercritical Fluids**, v. 121, p. 1–9, 2017.
- NAKA, T. *et al.* Assessment of some biochemical parameters of apple juices from two cashew varieties as affected by three regions of Côte d'Ivoire. **Journal Of Advances in Agriculture**, v. 5, n. 2, p. 621–633, 2015.
- NASCIMENTO, A. L. A. A. *et al.* Chemical characterization and antioxidant potential of native fruits of the Cerrado of northern Minas Gerais. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 23, p. 1–9, 2020.
- NASCIMENTO, E. DE A. *et al.* In vitro anticancer properties of anthocyanins: A systematic review. **Biochimica et Biophysica Acta - Reviews on Cancer**, v. 1877, n. 4, 2022.
- NEVES, G. A. DA R. *et al.* Vinegar from *Anacardium othonianum* Rizzini using submerged fermentation. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 101, n. 7, p. 2855–2862, 2021.
- NIE, J. *et al.* Optimization and kinetic modeling of ultrasonic-assisted extraction of fucoxanthin from edible brown algae *Sargassum fusiforme* using green solvents. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 77, p. 105671, set. 2021.
- NORA, C. D. *et al.* Effect of processing on the stability of bioactive compounds from red guava (*Psidium cattleianum* Sabine) and guabiju (*Myrcianthes pungens*). **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 34, n. 1, p. 18–25, 2014.
- OLIVEIRA, J. P. DA S. *et al.* Metabolomic studies of anthocyanins in fruits by means of a liquid chromatography coupled to mass spectrometry workflow. **Current Plant Biology**, v. 32, n. October, p. 100260, 2022.
- OLIVEIRA, VALERIA F *et al.* Physicochemical characterization of 'Cerrado' cashew (*Anacardium othonianum* Rizzini) fruits and pseudofruits. **Journal of The Science of Food and Agriculture**, n. 99, p. 6199–6208, 2019.
- OLIVEIRA, VALERIA F. *et al.* Physicochemical characterization of 'Cerrado' cashew (*Anacardium othonianum* Rizzini) fruits and pseudofruits. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 99, n. 14, p. 6199–6208, 2019.

- ORTEGA, N. *et al.* Matrix composition effect on the digestibility of carob flour phenols by an in-vitro digestion model. **Food Chemistry**, v. 124, n. 1, p. 65–71, 2011.
- O'SHEA, N. *et al.* Physicochemical assessment of two fruit by-products as functional ingredients: Apple and orange pomace. **Journal of Food Engineering**, v. 153, p. 89–95, 2015.
- OZKAN, K.; KARADAG, A.; SAGDIC, O. The effects of different drying methods on the in vitro bioaccessibility of phenolics, antioxidant capacity, minerals and morphology of black 'Isabel' grape. **Lwt**, v. 158, p. 113185, 2022.
- PACHECO, A. A.; NEVES, A. C. O.; FERNANDES, G. W. Uneven conservation efforts compromise Brazil to meet the Target 11 of Convention on Biological Diversity. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 16, n. 1, p. 43–48, 2018.
- PAIM, R. DE C. S. *et al.* Toxic plants from the perspective of a "Quilombola" community in the Cerrado region of Brazil. **Toxicon**, v. 224, n. December 2022, 2023.
- PAULO FARIAS, D. DE *et al.* Effect of in vitro digestion on the bioaccessibility and bioactivity of phenolic compounds in fractions of *Eugenia pyriformis* fruit. **Food Research International**, v. 150, p. 110767, dez. 2021.
- PELL, S. K. *et al.* **The families and genera of vascular plants**. Berlim: In K. Kubitzki (ed.), 2011.
- PICOT-ALLAIN, C. *et al.* Conventional versus green extraction techniques — a comparative perspective. **Current Opinion in Food Science**, v. 40, p. 144–156, ago. 2021.
- PORTE, A. *et al.* Propriedades funcionais tecnológicas das farinhas de sementes de mamão (*Carica papaya*) e de abóbora (*Cucurbita* sp). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 13, n. 1, p. 91–96, 2011.
- PREETHI, P. *et al.* Cashew apple pomace powder enriched the proximate, mineral, functional and structural properties of cereal based extrudates. **Lwt**, v. 139, n. May 2020, p. 110539, 2021.
- PREMAOR, M. O.; BRONDANI, J. E. Nutrição e saúde óssea: a importância do cálcio, fósforo, magnésio e proteínas. **Revista da AMRIGS**, v. 60, n. 3, p. 253–263, 2016.
- QIAN, J. *et al.* The effect of ultrasonic intensity on physicochemical properties of Chinese fir. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 64, p. 104985, jun. 2020.
- QUATRIN, A. *et al.* Characterization and quantification of tannins, flavonols, anthocyanins and matrix-bound polyphenols from jaboticaba fruit peel: A comparison

- between *Myrciaria trunciflora* and *M. jaboticaba*. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 78, n. June 2018, p. 59–74, 2019.
- RABBANI, A. R. C. *et al.* Diversidade genética entre cajueiros comerciais. **Scientia Plena**, v. 8, n. 6, p. 060201, 2012.
- RASHIDIAN, G. *et al.* Chemically and green synthesized zno nanoparticles alter key immunological molecules in common carp (*Cyprinus carpio*) skin mucus. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, n. 6, 2021.
- RAY, A. *et al.* Supercritical fluid extraction of bioactives from fruit waste and its therapeutic potential. **Food Bioscience**, v. 52, n. August 2022, p. 102418, 2023.
- RE, R. *et al.* Antioxidant activity applying an improved abts radical cation decolorization assay. **EMPA Activities**, v. 26, n. 9/10, p. 1231, 1999.
- REINA, L. J. C. *et al.* Chemical composition and bioactive compounds of cashew (*Anacardium occidentale*) apple juice and bagasse from Colombian varieties. **Heliyon**, v. 8, n. 5, 2022.
- REIS, A. F.; SCHMIELE, M. Characteristics and potentialities of Savanna fruits in the food industry. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 22, p. 1–12, 2019.
- RESENDE, L. M.; FRANCA, A. S.; OLIVEIRA, L. S. Buriti (*Mauritia flexuosa* L. f.) fruit by-products flours: Evaluation as source of dietary fibers and natural antioxidants. **Food Chemistry**, v. 270, p. 53–60, 2019a.
- _____. Buriti (*Mauritia flexuosa* L. f.) fruit by-products flours: Evaluation as source of dietary fibers and natural antioxidants. **Food Chemistry**, v. 270, n. December 2017, p. 53–60, 2019b.
- RIBAS-AGUSTÍ, A. *et al.* Food processing strategies to enhance phenolic compounds bioaccessibility and bioavailability in plant-based foods. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 58, n. 15, p. 2531–2548, 13 out. 2018.
- RIBEIRO NETO, J. A. *et al.* Using the plants of Brazilian Cerrado for wound healing: From traditional use to scientific approach. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 260, n. January, 2020.
- RIBEIRO, V. R. *et al.* Improvement of phenolic compound bioaccessibility from yerba mate (*Ilex paraguariensis*) extracts after biosorption on *Saccharomyces cerevisiae*. **Food Research International**, v. 126, n. April, p. 108623, 2019.
- ROCHA, M. S. *et al.* Caracterização físico-química e atividade antioxidante (*in vitro*) de frutos do cerrado piauiense 1 physical and chemical characterization and

antioxidant activity (*in vitro*) of fruit of the piaui savanna. **Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal-SP**, v. 35, p. 933–941, 2013.

ROCHA, W. S. *et al.* Compostos fenólicos totais e taninos condensados em frutas nativas do cerrado. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 4, p. 1215–1221, 2011.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Update on natural food pigments - A mini-review on carotenoids, anthocyanins, and betalains. **Food Research International**, v. 124, n. March 2018, p. 200–205, 2019.

ROIDOUNG, S.; PONTA, N.; INTISAN, R. Mango peel ingredient as salt and phosphate replacement in chicken breast marinade. **International Journal of Food Studies**, v. 9, n. 1, p. 193–202, 2020.

ROMERO-DÍEZ, R. *et al.* Microwave and ultrasound pre-treatments to enhance anthocyanins extraction from different wine lees. **Food Chemistry**, v. 272, n. August 2018, p. 258–266, 2019.

ROSA, M. *et al.* Variations in photon flux density alter the morphophysiological and chemical characteristics of *Anacardium othonianum* Rizz. *in vitro*. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 140, n. 3, p. 523–537, 2020.

ROSSETTO, R. *et al.* Acai pulp and seeds as emerging sources of phenolic compounds for enrichment of residual yeasts (*Saccharomyces cerevisiae*) through biosorption process. **Lwt**, v. 128, n. April, p. 109447, 2020.

RUFINO, M. S. M. *et al.* Acerola and cashew apple as sources of antioxidants and dietary fibre. **Food Science & Technology**, v. 45, p. 2227–2233, 2010.

SAEED, R.; AHMED, D.; MUSHTAQ, M. Ultrasound-aided enzyme-assisted efficient extraction of bioactive compounds from *Gymnema sylvestre* and optimization as per response surface methodology. **Sustainable Chemistry and Pharmacy**, v. 29, n. August, p. 100818, 2022a.

SANTANA, N. C. Fire recurrence and normalized difference vegetation index (NDVI) dynamics in brazilian savanna. **Fire**, v. 2, n. 1, p. 1–17, 2019.

SANTANA, R. V. *et al.* Quality parameters and sensorial profile of clarified “Cerrado” cashew juice supplemented with *Sacharomyces boulardii* and different sweeteners. **LWT**, v. 128, p. 109319, 1 jun. 2020.

SANTOS, D. C. DOS *et al.* Quality Parameters and Health Impact of Clarified “Cerrado” Cashew Juice (*Anacardium othonianum* Rizz.). **Current Developments in Nutrition**, v. 4, p. nzaa045_018, 2020.

- SANTOS, G. L. DOS *et al.* Degradation of the Brazilian Cerrado: Interactions with human disturbance and environmental variables. **Forest Ecology and Management**, v. 482, n. August 2020, 2021.
- SANTOS, L. F. DOS *et al.* Brazilian native fruit pomace as a source of bioactive compounds on starch-based films: Antimicrobial activities and food simulator release. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 242, n. February, 2023.
- SANTOS, M. A. DOS *et al.* Minas Gerais E O Marco Inicial Da Ocupação Do Cerrado Brasileiro: O Papel Do Estado. **Revista de Desenvolvimento Regional REDES**, v. 19, n. 1, p. 261–275, 2014.
- SATHE, S. K. Dry Bean Protein Functionality. **Critical Review in Biotechnology**, v. 22, n. 2, p. 175–223, 2002.
- SCHIASSI, M. C. E. V. *et al.* Fruits from the Brazilian Cerrado region: Physico-chemical characterization, bioactive compounds, antioxidant activities, and sensory evaluation. **Food Chemistry**, v. 245, n. June 2017, p. 305–311, 2018.
- SCHULZ, M. *et al.* Composition and potential health effects of dark-colored underutilized Brazilian fruits – A review. **Food Research International**, v. 137, n. June, p. 109744, 2020.
- SCHWEIGGERT, R. M. *et al.* Carotenoids, carotenoid esters, and anthocyanins of yellow-, orange-, and red-peeled cashew apples (*Anacardium occidentale* L.). **Food chemistry**, v. 200, p. 274–82, 2016.
- SEMWAL, R. *et al.* Health benefits and limitations of rutin - A natural flavonoid with high nutraceutical value. **Phytochemistry Letters**, v. 46, n. October, p. 119–128, 2021.
- SERAGLIO, S. K. T. *et al.* Development and validation of a LC-ESI-MS/MS method for the determination of phenolic compounds in honeydew honeys with the diluted-and-shoot approach. **Food Research International**, v. 87, p. 60–67, 2016.
- SHEN, Y. *et al.* Protective effects of p-coumaric acid against oxidant and hyperlipidemia-an in vitro and in vivo evaluation. **Biomedicine and Pharmacotherapy**, v. 111, n. October 2018, p. 579–587, 2019.
- SILVA, A. L. L. *et al.* “Cerrado” cashew (*Anacardium othonianum* Rizz.) juice improves metabolic parameters in women: A pilot study. **Journal of Functional Foods**, v. 69, p. 103950, 1 jun. 2020.
- SILVA, A. L. L. E *et al.* “ Cerrado ” cashew (*Anacardium othonianum* Rizz.) juice improves metabolic parameters in women: A pilot study. **Journal of Functional Foods**, v. 69, p. 103950, 2020.

- SILVA, C. A. DE A.; FONSECA, G. G. Brazilian savannah fruits: Characteristics, properties, and potential applications. **Food Science and Biotechnology**, v. 25, n. 5, p. 1225–1232, 2016.
- SILVA, E. S. DA; NUNES, A. O.; HOSKIN, R. T. Ultrasound-assisted polyphenol extraction of acerola and jambolan pomaces: comparison of extraction protocols, kinetic modeling, and life cycle assessment. **Chemical Engineering and Processing - Process Intensification**, v. 191, n. March, 2023.
- SILVA HAAS, I. C. DA *et al.* Polyphenolic profile, macro- and microelements in bioaccessible fractions of grape juice sediment using in vitro gastrointestinal simulation. **Food Bioscience**, v. 27, n. November 2018, p. 66–74, 2019.
- SILVA, J. G. S.; ORLANDO, E. A.; *et al.* Optimization and Validation of a Simple Method for Mineral Potential Evaluation in Citrus Residue. **Food Analytical Methods**, v. 10, p. 1899–1908, 2017.
- SILVA, J. G. S.; REBELLATO, A. P.; *et al.* Bioaccessibility of calcium, iron and magnesium in residues of citrus and characterization of macronutrients. **Food Research International**, v. 97, n. December 2016, p. 162–169, 2017.
- SILVA, L. A. DA; SALES, J. DE F.; NEVES, J. M. G.; *et al.* Radiographic image analysis of *Anacardium othonianum* Rizz (anacardiaceae) achenes subjected to desiccation. **Acta Scientiarum**, v. 39, n. 2, p. 235–244, 2017.
- SILVA, L. M. DOS S. F. E. *et al.* Production, characterization and shelf-life evaluation of *Caryocar brasiliense* pulp flour. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 28, n. March, p. 100512, 2022.
- SILVA, M. R. *et al.* Caracterização química de frutos nativos do cerrado. **Ciência Rural**, v. 38, n. 6, p. 1790–1793, set. 2008.
- SILVA, R. *et al.* Caracterização química de frutos nativos do cerrado Chemical characterization of native species of fruits from savanna ecosystem. **Ciência Rural**, v. 38, n. 6, p. 1790–1793, 2008.
- SILVA, T. M.; SOUZA, E. R. B. DE; PAULA, J. A. M. DE; *et al.* Chemical Characterization and Bioprospecting of Cashew Tree Polysaccharide of Brazilian Cerrado (*Anacardium othonianum* Rizz.), Anacardiaceae. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v. 6, n. 3, p. 230–246, 2017.
- SILVA, T. R. *et al.* Factors affecting savanna and forest regeneration in pastures across the cerrado. **Journal of Environmental Management**, v. 330, n. December 2022, 2023.

SILVA-LUZ, C. *et al.* **Anacardiaceae**. In: **Flora do Brasil 2020**. Disponível em: <<https://floradobrasil2020.jbrj.gov.br/FB4380>>.

SILVA-SÁNCHEZ, C. *et al.* Functional and rheological properties of amaranth albumins extracted from two Mexican varieties. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 59, n. 4, p. 169–174, 2004.

SINGH, S. S. *et al.* Physical, chemical, textural, and thermal properties of cashew apple fruit. 2019.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 16, n. 3, p. 144–158, 1965.

SOQUETTA, M. B. *et al.* Characterization of physiochemical and microbiological properties, and bioactive compounds, of flour made from the skin and bagasse of kiwi fruit (*Actinidia deliciosa*). **Food Chemistry**, v. 199, p. 471–478, 15 maio 2016.

SOUSA, M. F. DE R. M. G. *et al.* Characterization of corn (*Zea mays* L.) bran as a new food ingredient for snack bars. **LWT - Food Science and Technology**, v. 101, p. 812–818, 2019.

SOUZA, P. L. C.; SILVA, M. R. Quality of granola prepared with dried caju-do-cerrado (*Anacardium othonianum* Rizz) and baru almonds (*Dipteryx alata* Vog). **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 3, p. 1712–1717, 2015.

SOUZA, V. R. DE *et al.* Determination of bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Cerrado Brazilian fruits. **Food Chemistry**, v. 134, n. 1, p. 381–386, 2012.

SOWBHAGYA, H. B.; CHITRA, V. N. Enzyme-Assisted Extraction of Flavorings and Colorants from Plant Materials. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 50, n. 2, p. 146–161, 29 jan. 2010.

SRUTHI, P.; NAIDU, M. M. Cashew nut (*Anacardium occidentale* L.) testa as a potential source of bioactive compounds: a review on its functional properties and valorization. **Food Chemistry Advances**, p. 100390, 2023.

STRASSBURG, B. B. N. *et al.* Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology and Evolution**, v. 1, n. 4, p. 1–3, 2017.

SUBHASREE, B. *et al.* Evaluation of antioxidant potential in selected green leafy vegetables. **Food Chemistry**, v. 115, n. 4, p. 1213–1220, 2009.

SUGANYA, A.; SARAVANAN, A.; MANIVANNAN, N. Role of Zinc Nutrition for Increasing Zinc Availability, Uptake, Yield, and Quality of Maize (*Zea Mays* L.) Grains:

An Overview. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 51, n. 15, p. 2001–2021, 2020.

SUN, Y. *et al.* Flavonoids, phenolic acids, carotenoids and antioxidant activity of fresh eating citrus fruits, using the coupled in vitro digestion and human intestinal HepG2 cells model. **Food Chemistry**, v. 279, n. June 2018, p. 321–327, 2019.

TAN, Y.; ZHOU, H.; MCCLEMENTS, D. J. Application of static in vitro digestion models for assessing the bioaccessibility of hydrophobic bioactives: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 122, p. 314–327, abr. 2022.

TARIQ, A. *et al.* Extraction of dietary fiber and polyphenols from mango peel and its therapeutic potential to improve gut health. **Food Bioscience**, v. 53, n. February, p. 102669, 2023.

TEJADA-ORTIGOZA, V. *et al.* The dietary fiber profile of fruit peels and functionality modifications induced by high hydrostatic pressure treatments. **Food Science and Technology International**, v. 23, n. 5, p. 396–402, 2017.

THAKUR, N. *et al.* Recent updates on bioaccessibility of phytonutrients. **Trends in Food Science & Technology**, v. 97, p. 366–380, mar. 2020.

TROMBINI, F. R. M.; LEONEL, M.; MISCHAN, M. M. Características físicas, reológicas e sensorial de produtos extrusados de misturas de farinha de maracujá e fécula de mandioca. **Ciência Rural**, v. 43, n. 10, p. 1885–1891, 2013.

UMMAT, V. *et al.* Advances in pre-treatment techniques and green extraction technologies for bioactives from seaweeds. **Trends in Food Science and Technology**, v. 110, n. December 2020, p. 90–106, 2021.

VASCONCELOS, K. M. C. S. G. *et al.* Evaluation of nutritional composition of flour residue of mangaba processing. **Brazilian Journal of Biology**, v. 83, p. 1–9, 2023.

VENEMA, K.; VERHOEVEN, J.; VERBRUGGEN, S. Calcium and phosphorus bioaccessibility from different amino acid-based medical nutrition formulas for infants and children under in vitro digestive conditions. **Clinical Nutrition Experimental**, v. 32, p. 20–28, 2020.

VERONESE, N. *et al.* Dietary fiber and health outcomes: an umbrella review of systematic reviews and meta-analyses. p. 436–444, 2018.

VRIESMANN, L. C.; TEÓFILO, R. F.; PETKOWICZ, C. L. DE O. Extraction and characterization of pectin from cacao pod husks (*Theobroma cacao* L.) with citric acid. **Lwt**, v. 49, n. 1, p. 108–116, 2012.

- WANG, L. *et al.* Preparation and physicochemical properties of soluble dietary fiber from orange peel assisted by steam explosion and dilute acid soaking. **Food Chemistry**, v. 185, p. 90–98, 2015.
- WANG, T.; HE, F.; CHEN, G. Improving bioaccessibility and bioavailability of phenolic compounds in cereal grains through processing technologies: A concise review. **Journal of Functional Foods**, v. 7, n. 1, p. 101–111, 2014.
- WANG, Z. *et al.* Extraction and recovery of bioactive soluble phenolic compounds from brocade orange (*Citrus sinensis*) peels: Effect of different extraction methods thereon. **LWT**, v. 173, p. 114337, jan. 2023.
- WEN, C. *et al.* Advances in ultrasound assisted extraction of bioactive compounds from cash crops – A review. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 48, n. June, p. 538–549, 2018.
- WITTSIEPE, J. *et al.* Comparison of different digestive tract models for estimating bioaccessibility of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans (PCDD/F) from red slag 'Kieselrot'. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 203, n. 3, p. 263–273, jan. 2001.
- YAGCI, S. *et al.* Impact of tomato pomace powder added to extruded snacks on the in vitro gastrointestinal behaviour and stability of bioactive compounds. **Food Chemistry**, v. 368, n. May 2021, p. 130847, 2022.
- YANG, Z. *et al.* Bioaccessibility and bioavailability changes of phenolic compounds in pumpkins (*Cucurbita moschata*): A review. **Food Bioscience**, v. 47, p. 101753, jun. 2022.
- YAO, K. *et al.* In vitro and in vivo study of the enhancement of carotenoid bioavailability in vegetables using excipient nanoemulsions: Impact of lipid content. **Food Research International**, v. 141, p. 110162, mar. 2021.
- YU, M. *et al.* Effects of different extraction methods on structural and physicochemical properties of pectins from finger citron pomace. **Carbohydrate Polymers**, v. 258, n. October 2020, p. 117662, 2021.
- YUSOFF, I. M. *et al.* A review of ultrasound-assisted extraction for plant bioactive compounds: Phenolics, flavonoids, thymols, saponins and proteins. **Food Research International**, v. 157, p. 111268, jul. 2022.
- ZOU, X. *et al.* Properties of plant-derived soluble dietary fibers for fiber-enriched foods: A comparative evaluation. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 223, n. PA, p. 1196–1207, 2022.

ANEXOS

ANEXO A – Primeira página do artigo, referente ao capítulo 2, publicado na revista *Food Science and Technology*.

Original Article Food Science and Technology	ISSN 0101-2061 (Print) ISSN 1678-457X (Online)
---	---

DOI: <https://doi.org/10.5327/0490122>

Cerrado cashew (*Anacardium othonianum* Rizz) apple pomace: chemical characterization and optimization of enzyme-assisted extraction of phenolic compounds

Bheatriz Silva Moraes de FREITAS¹, Isabel Cristina da Silva HAAS¹, Marina PEREIRA-COELHO², Adrielle Borges de ALMEIDA¹, Júlia dos Santos Opuski de ALMEIDA¹, Mariana Buranelo EGEA³, Fabiano Guimarães da SILVA⁴, Carmen Lucia de Oliveira PETKOWICZ¹, Alicia de FRANCISCO¹, Luiz Augusto dos Santos MADUREIRA⁵, Carlise Beddin Fritzen FREIRE¹, Renata Dias de Mello Castanho AMBONI^{6*}

Abstract
Cerrado cashew (*Anacardium othonianum* Rizz) pomace is the main by-product from the processing of cashew apples. This study aimed to (i) investigate the difference between the chemical compositions of the pomaces of yellow (YCP), orange (OCP), and red (RCP) cashew apples based on their mineral, monosaccharide, and polyphenolic compositions; and (ii) optimize enzyme-assisted extraction of the phenolic compounds from Cerrado cashew apple pomace. Potassium and iron were the main macro- and microelements found in residue, and significant differences were noted in the profiles of the samples. The predominant monosaccharides in the samples included glucose (52.7–60.6 mol%) and uronic acid (12.5–14.5% mol). The complete three-level factorial design allowed the optimization of pH, extraction time, and temperature, leading to an optimal extraction of polyphenols at pH 5.5, an extraction time of 120 min, and a temperature of 55°C. Myricetin (43.03–44.26 mg/kg), vanillic acid (30.96–32.32 mg/kg), and gallic acid (11.34–29.25 mg/kg) were the major polyphenols found in the samples. These results confirmed that regardless of the color of Cerrado cashew apple pomace, this by-product is a potential source of phytochemicals for application in sustainable and functional food products.

Keywords: cashew apple; fruit by-product; enzyme-assisted extraction; central composite design; multivariate chemometric analysis.

Practical Application: The results hereby reported provide valuable information regarding cashew apple pomace as a source of nutrients and polyphenols.

1. Introduction
The Cerrado is the second-largest biome in Brazil. It occupies approximately 2,036,448 km² of the country's territory. Among the species found in the Cerrado biome that bear edible fruits, the *Anacardium othonianum* Rizzini, commonly known as the cashew tree from the Cerrado, is well known for its fruit, which consists of two parts: the cashew apple (hypocarp) and the cashew nut (Oliveira et al., 2019). The cashew apple is soft and juicy, and its skin and pulp are yellow, orange, or red. Due to the succulence and acidic taste of cashew apples from the species *A. othonianum*, they are mainly used as a raw material to prepare frozen pulps, juices, sweets, liqueurs, teas, and other beverages (Santana et al., 2020; Schweiggert et al., 2016). The processing of frozen pulps and juices produces a large amount of solid residue that is highly perishable due to its high moisture content.

The differences regarding the colors of the *A. othonianum* cashew apples may indicate differences in their chemical compositions and nutritional properties, even though they are the same species. To the best of our knowledge, there is no report available regarding the chemical composition of the cashew apple pomace from the species *A. othonianum* according to each of its three different colors.

Although the literature shows that the extraction of phenolic compounds by organic solvents is more efficient, the use of these chemicals presents a series of disadvantages, such as toxicity to the environment and to the handlers, as well as low selectivity

Received: 29 Aug. 2022
Accepted: 30 May 2023

¹Universidade Federal de Santa Catarina, Department of Food Science and Technology, Florianópolis, SC, Brazil.
²Universidade Federal de Santa Catarina, Department of Chemistry, Florianópolis, SC, Brazil.
³Instituto Federal Goiano de Educação, Ciência e Tecnologia, Department of Agricultural Sciences, Rio Verde, GO, Brazil.
⁴Universidade Federal do Paraná, Department of Biochemistry and Molecular Biology, Curitiba, PR, Brazil.
⁵Corresponding author: renata.amboni@ufsc.br