

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

PRISCILA MAYARA DE LIMA OLIVEIRA

FRUTOS DE JUÁ (*Ziziphus joazeiro* Mart.) :
CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, NUTRICIONAL,
BIOACESSIBILIDADE E POTENCIAL ANTIOXIDANTE DE
COMPOSTOS BIOATIVOS

JOÃO PESSOA-PB

2019

PRISCILA MAYARA DE LIMA OLIVEIRA

**FRUTOS DE JUÁ (*Ziziphus joazeiro* Mart.) :
CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, NUTRICIONAL,
BIOACESSIBILIDADE E POTENCIAL ANTIOXIDANTE DE
COMPOSTOS BIOATIVOS**

JOÃO PESSOA-PB

2019

PRISCILA MAYARA DE LIMA OLIVEIRA

**FRUTOS DE JUÁ (*Ziziphus joazeiro* Mart.) :
CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, NUTRICIONAL,
BIOACESSIBILIDADE E POTENCIAL ANTIOXIDANTE DE
COMPOSTOS BIOATIVOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientadora: Prof^a. Dra. Graciele da Silva Campelo Borges

JOÃO PESSOA-PB

2019

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

O48f Oliveira, Priscila Mayara de Lima.
FRUTOS DE JUÁ (Ziziphus joazeiro Mart.) :
CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, NUTRICIONAL, BIOACESSIBILIDADE
E POTENCIAL ANTIOXIDANTE DE COMPOSTOS BIOATIVOS /
Priscila Mayara de Lima Oliveira. - João Pessoa, 2019.
66 f. : il.

Orientação: Graciele da Silva Campelo Borges.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT.

1. juá. 2. fibra alimentar. 3. digestão in vitro. 4.
fruto nativo. 5. bioacessibilidade. I. Borges, Graciele
da Silva Campelo. II. Título.

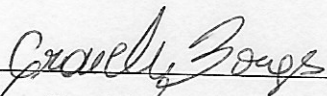
UFPB/BC

PRISCILA MAYARA DE LIMA OLIVEIRA

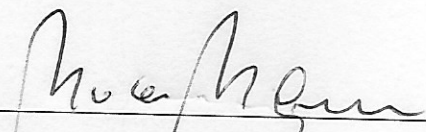
**FRUTOS DE JUÁ (*Ziziphus joazeiro* Mart.): CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA,
NUTRICIONAL, BIOACESSIBILIDADE E POTENCIAL ANTIOXIDANTE DE
COMPOSTOS BIOATIVOS**

Dissertação APROVADA em 02/04/2019

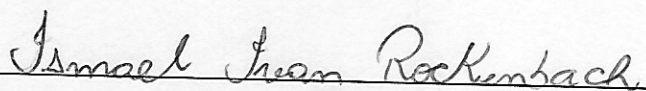
BANCA EXAMINADORA



Prof.^a. Dra. Graciele da Silva Campelo Borges – DTA/CTDR/UFPB
Orientadora



Prof.^a. Dra. Marciane Magnani - DEA/CT/UFPB
Membro Interno



Prof. Dr. Ismael Ivan Rockenbach - DTA/CTDR/UFPB
Membro Externo

*A Deus, pelos objetivos conquistados, grata por
tudo que faz em minha vida!*

*E a minha avó Ivone (in memoriam), pelo
incentivo e amor pleno pela sua primeira neta.*

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus todo poderoso, primeiramente por me conceder o dom da vida, por me ouvir nos meus momentos mais difíceis, pedindo pelas conquistas dos meus objetivos e agradecendo pela sua proteção divina e da sua mãe Maria, que guiam os meus passos.

A meus pais, Sávio e Patrícia, pessoas mais importantes da minha vida, que lutaram para oferecer uma melhor educação. Obrigado pelo apoio em toda essa jornada, não é fácil compreender os meus objetivos mais saibam que escolhi o melhor para mim! Agradeço pelo carinho, pelos puxões de orelha e pelo amor incondicional, amo vocês!

À minha vovó Ivone, *in memoriam*, por todo amor que fornecia para sua neta. Como sinto sua presença vó, nos meus momentos de angústias e de felicidades, sei o quanto estais feliz pelas minhas conquistas concretizadas, hoje em minha vida. Agradeço ao meu avô Clovis pela educação que me oferece e por querer o melhor para mim, estando sempre do meu lado, me apoiando e dando forças para os desafios da vida! Obrigado por tudo, os melhores avós que poderia ter na minha vida.

À minha orientadora, Professora Graciele da Silva Campelo Borges, sou eternamente grata por Deus ter colocado uma orientadora/amiga para conduzir esses dois anos de mestrado. Obrigado por ter me escolhido! Todo aprendizado, carinho e paciência vividos nesses anos nunca serão esquecidos. Você foi uma das pessoas com quem mais cresci profissionalmente, gratidão a ti, Graciele!

Ao meu noivo Tarcísio Dias, o seu apoio foi fundamental para a concretização dos meus sonhos! Saibas que nunca esquecerei tudo que fizeste por mim e o quanto sofrestes por me ver muitas vezes angustiada com meus prazos e términos do mestrado. Te amo!

À minha banca examinadora, Professora Dra. Marciane Magnani e Professor Dr. Ismael Ivan Rockenbach, pela disposição em contribuir cientificamente, para o melhor da nossa pesquisa.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo fornecimento da minha bolsa de estudos.

Ao corpo docente do PPGCTA, pelo conhecimento repassado. Em especial para a Secretária Fernanda pela paciência e carinho em atender à todos com tanta presteza.

Ao Herbário Lauro Pires Xavier que ajudou no compartilhamento de informações sobre as espécies identificadas do juá na Paraíba.

A todos os professores e funcionários do Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional (CTDR) por estarem sempre de portas abertas para nos receber, com tanto carinho!

As meninas, Aisla, Alda, Roberta e minhas amigas Jozicleide e Viviane por estarem tão presentes nos últimos anos, compartilhando alegrias e tristezas. O apoio de vocês foi fundamental, levarei vocês para sempre, no coração!

Aos técnicos de laboratório do Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional (CTDR), que me auxiliaram durante a pesquisa, Aline, Diego, José Evangelista, Gisleânia, em especial Bosco, Erivelton e José Carlos além da ajuda fornecida, partilhou de vários momentos da vida. Ao técnico Gilvandro do Laboratório de Processos Microbianos com sua simplicidade auxiliou-me durante as análises. Muito obrigado a todos !

As meninas do grupo de pesquisa, Alany, Isis, Jéssica, Jeniffer, Gaby e Alice, em especial à Aline Macedo que me ensinou e partilhou o seu conhecimento, auxiliando na minha pesquisa, companheira de risos durante os desesperos no laboratório.

A minha turma de Mestrado 2017.1 do PPGCTA, em especial as meninas Vanessa, Thayanale e a Bruna por participar desses momentos comigo desde a graduação.

A todos os meus amigos e parentes presentes neste momento, Vanessa Bastos, Geralda Dias, Tacy Dias, Tia Ide, Laís Freire.

Enfim, sou grata por tudo ter dado certo nesses dois anos de Mestrado, onde a Universidade Federal da Paraíba me acolheu tão bem desde da minha vinda à Paraíba em 2012. Uma nova página irá começar em minha vida.

Não tenho nada a pedir, só agradecer!

Eu posso ir, muito além de onde estou
Vou nas asas do Senhor!
O Teu amor, é o que me conduz
Posso voar e subir sem me cansar
Ir pra frente sem me fatigar
Vou com asas, como águia
Pois confio no Senhor!

Padre Fábio de Melo

RESUMO

Ziziphus joazeiro Mart é uma espécie pertencente à família Rhamnaceae, endêmica da Caatinga, conhecida pelas suas propriedades farmacológicas. Os frutos do *juazeiro* comumente conhecidos como “juá”, são drupas globosas com uma semente envolto por uma polpa mucilaginosa doce e branca, sendo pouco consumido pela população. Na literatura não encontrou-se estudos aprofundados sobre a composição nutricional, os compostos fenólicos e as propriedades antioxidantes do juá. Sendo assim, faz-se necessário um estudo para aprofundar o conhecimento sobre esse fruto. Diante disto, o presente trabalho objetivou caracterizar os frutos de juá coletados em quatro mesorregiões da Paraíba quanto aos seus aspectos morfológicos, composição físico-química e nutricional, perfil e a bioacessibilidade dos compostos fenólicos por ensaio de digestão gastrointestinal *in vitro* e propriedades antioxidantes. Os frutos de juá foram caracterizados quanto ao peso, diâmetro longitudinal e transversal. A caracterização nutricional e físico-química foi determinada pelos parâmetros de sólidos solúveis, pH, umidade, proteína bruta, lipídeos totais, cinzas e fibras totais. O perfil de açúcares, ácidos orgânicos e compostos fenólicos foram quantificados por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE). A digestão gastrointestinal *in vitro* simulou etapas da fase oral (α -amilase), gástrica (pepsina) e intestinal (pancreatina) acoplada a uma membrana de diálise para simulação da parede intestinal. A bioacessibilidade de compostos fenólicos foi determinada a partir do percentual da fração dialisada e não dialisada. A atividade antioxidante dos frutos e das frações da digestão gastrointestinal foram avaliadas pelos métodos de capacidade redutora do Fe^{+2} (FRAP), de captura do radical DPPH• e capacidade de captura de radicais oxigenados (ORAC). Os resultados obtidos foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey ao nível de 5% ($p \leq 0,05$). Os frutos de juá apresentaram formato ovóide, com melhores resultados em relação ao tamanho e peso para os frutos de juá oriundos da Mata Paraibana (MP). Os frutos das distintas regiões apresentaram alta umidade (65,33-72,53%), baixa acidez e o ácido succínico como ácido orgânico predominante. Os frutos analisados apresentaram alto conteúdo de fibras alimentares (8,98 - 10,81%) com destaque para fibras insolúveis (5,72-0,02%). Em relação aos compostos fenólicos os frutos da MP apresentaram as maiores quantidades de fenólicos livres (24,27 mg/100g) e a maior atividade antioxidante nos ensaios DPPH, FRAP e ORAC. Nos frutos do Agreste (AG), a catequina (12,76 mg/100g) foi o composto majoritário na fração de fenólicos conjugados. O conteúdo de compostos fenólicos variaram entre os frutos das distintas regiões. A catequina, epicatequina, epicatequina galato, epigallocatequina galato, procianidina B1 e ácido siríngico foram os compostos mais bioacessíveis. Os frutos do Sertão paraibano (SP) apresentaram maior conteúdo fenólico bioacessível, bem como maior atividade antioxidante frente aos ensaios. Os resultados revelaram que os frutos das distintas regiões da Paraíba possuem diferenças em relação às características nutricionais, morfológicas e físico-químicas confirmando que os fatores edafoclimáticos influenciam diretamente na composição química do fruto, com alto potencial para o consumo.

Palavras-chave: juá, fibra alimentar, digestão *in vitro*, fruto nativo, bioacessibilidade

ABSTRACT

Ziziphus joazeiro Mart is a species that belongs to the Rhamnaceae family, endemic to the Caatinga, known for its pharmacological properties. The juazeiro fruits commonly known as “juá”, are globose drupes with a seed surrounded by a sweet and white mucilaginous pulp, being little consumed by the population. In the literature, studies were not found on the nutritional composition, phenolic compounds and antioxidant properties of juá. Therefore, a study is necessary to elucidate the knowledge about this fruit. In view of this, the present study aimed to characterize the fruit of juá collected in four mesoregions of Paraíba regarding its morphological aspects, physical-chemical and nutritional composition, profile and bioaccessibility of phenolic compounds by *in vitro* gastrointestinal digestion assays and antioxidant properties. Juá fruits were characterized by weight, longitudinal and transversal diameter. The nutritional and physical-chemical characterization was determined by the parameters of soluble solids, pH, moisture, crude protein, total lipids, ash and total fibers. The profile of sugars, organic acids and phenolic compounds were quantified by high performance liquid chromatography (HPLC). *In vitro* gastrointestinal digestion simulated stages of the oral (α -amylase), gastric (pepsin) and intestinal (pancreatin) phases coupled to a dialysis membrane to simulate the intestinal wall. The percentage of the dialyzed and non dialyzed fraction determined the bioaccessibility of phenolic compounds. The antioxidant activity of fruits and fractions of gastrointestinal digestion were evaluated by the methods of reducing capacity of Fe^{+2} (FRAP), capture of the radical DPPH • and ability to capture oxygenated radicals (ORAC). The results obtained were submitted to analysis of variance (ANOVA) and Tukey's test at the level of 5% ($p \leq 0.05$). The juá fruits presented an ovoid shape, with better results in relation to the size and weight of the juá fruits from the Mata Paraibana (MP). The fruits of the different regions showed high moisture (65.33-72.53%), low acidity and succinic acid as the predominant organic acid. The analyzed fruits had a high content of dietary fibers (8.98 - 10.81%) with emphasis on insoluble fibers (5.72-0.02%). In relation to the phenolic compounds, the MP fruits showed the highest amounts of free phenolics (24.27 mg / 100g) and the highest antioxidant activity in the DPPH, FRAP and ORAC assays. In Agreste (AG) fruits, catechin (12.76 mg / 100g) was the major compound in the fraction of conjugated phenolics. The content of phenolic compounds varied among the fruits of the different regions. Catechin, epicatechin, epicatechin gallate, epigallocatechin gallate, procyanidin B1 and syringic acid were the most bioaccessible compounds. The fruits of the Sertão Paraibano (SP) showed higher bioaccessible phenolic content, as well highest antioxidant activity in all assay. The results revealed that the fruits of the different regions of Paraíba have differences in relation to the nutritional, morphological and physical-chemical characteristics confirming that the edaphoclimatic factors directly influence the chemical composition of the fruit, with high potential for consumption.

Keywords: juá, dietary fibers, *in vitro* digestion, native fruit, bioaccessibility

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Planta <i>Ziziphus joazeiro</i> com frutos	18
Figura 2 – Fruto de juá (<i>Ziziphus joazeiro</i> Mart.)	19

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Regiões com ocorrência natural do gênero <i>Ziziphus</i> no Brasil	17
---	----

ARTIGO

Table 1- Morphologic characteristics of juá fruit	61
Table 2 - Physico-chemical parameters and organic acid content of juá fruit.....	62
Table 3 - Nutritional composition of juá fruit.....	62
Table 4 - Phenolic compounds of juá fruit from different regions	63
Table 5 - Phenolic compounds in juá after <i>in vitro</i> gastrointestinal digestion.	64
Table 6- Antioxidant activity of juá, dialyzed and non-dialyzed and <i>in vitro</i> gastrointestinal digestion fractions	65

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1 IDENTIFICAÇÃO BOTÂNICA E OCORRÊNCIA DO GÊNERO <i>Ziziphus</i>	17
2.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E NUTRICIONAIS DO JUÁ (<i>Z. joazeiro</i>) E DO JUJUBA (<i>Z. jujuba</i>).....	19
2.3 COMPOSTOS FENÓLICOS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE NAS ESPÉCIES <i>Z. joazeiro</i> e <i>Z. jujuba</i>	22
2.4 QUALIDADE PÓS-COLHEITA E IMPORTÂNCIA TECNOLÓGICA DO JUÁ (<i>Z. joazeiro Mart.</i>).....	24
2.5 BIOACESSIBILIDADE DE COMPOSTOS FENÓLICOS EM FRUTAS	26
3 MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1 SUBSTÂNCIAS QUÍMICAS E REAGENTES	29
3.2 CONDIÇÕES DE COLETA DOS FRUTOS JUÁ.....	29
3.3 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS	30
3.4 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS	30
3.5 CARACTERIZAÇÃO NUTRICIONAL E FÍSICO-QUÍMICA	30
3.6 PERFIL DE AÇÚCARES E ÁCIDOS ORGÂNICOS POR CROMATOGRAFIA LÍQUIDA DE ALTA EFICIÊNCIA (CLAE)	31
3.7 EXTRAÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS LIVRES E CONJUGADOS.....	31
3.8 DIGESTÃO GASTROINTESTINAL <i>IN VITRO</i> ACOPLADA A UMA BARREIRA INTESTINAL SIMULADA.....	32
3.9 DETERMINAÇÃO DOS COMPOSTOS FENÓLICOS POR RP-CLAE/DAD	33
3.10 ENSAIOS DE ATIVIDADE ANTIOXIDANTE.....	33
3.11 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	34
REFERÊNCIAS	35
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1 ARTIGO	42
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	66

1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, o apelo ao incentivo do consumo de frutas vem aumentando. A Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) e o Ministério do Meio Ambiente no Brasil (MMA), recomenda o consumo de frutas nativas como forma de promover uma maior sensibilidade junto à sociedade para as novas possibilidades de uso da biodiversidade local e regional, do ponto de vista alimentício (BRASIL, 2018; BRASIL, 2015).

Com a grande diversidade de frutos existentes na biodiversidade com potenciais nutricionais distintos, é possível oferecer a população um maior aporte de propriedades ricas em compostos bioativos com benefícios a saúde. No entanto, são escassas as pesquisas que verificam o comportamento destes compostos bioativos em frutas nativas da Caatinga. Estudos de Dutra et al., (2017) comprovaram que frutos nativos da Caatinga como mangaba, seriguela e umbu-cajá apresentaram grandes quantidades de flavonóis, flavanóis e ácidos fenólicos com alta atividade antioxidante e variados índices de bioacessibilidade. Assim é indispensável a avaliação da bioacessibilidade de compostos fenólicos, como também a avaliação da atividade antioxidante da fração absorvível pelo organismo, a fim de inferir possíveis benefícios do consumo deste fruto nativo da Caatinga, ao organismo humano.

No Brasil, a Caatinga bioma exclusivamente brasileiro, é a vegetação predominante no semiárido nordestino. No Estado da Paraíba, a Caatinga corresponde aproximadamente 92% das espécies vegetais nativas no seu território (BRASIL, 2017). Na vegetação da Caatinga registra-se em torno de 932 espécies, das quais 380 são endêmicas (BRASIL, 2010). Na área do semiárido correspondente a vegetação da Caatinga são encontradas espécies vegetais hipoxerófilas como: xiquexique, mandacaru, umbuzeiro, juazeiros e outros. No entanto, as muitas populações de plantas da Caatinga são pouco exploradas cientificamente (SILVA et al., 2011), como é o caso da espécie *Ziziphus joazeiro* Mart.

Pertencente à família Rhamnaceae, o juazeiro é uma planta endêmica da Caatinga, espécie nativa do semiárido brasileiro, bastante conhecida pelas suas propriedades farmacológicas devido à presença de saponinas, já identificadas no juazeiro, com amplo espectro de ação no combate a doenças de pele (SOUSA et al., 2013; SANTOS et al., 2016), sendo utilizadas pela medicina popular como agente bactericida, analgésico e cicatrizante (CAVALCANTI et al., 2011; SILVA et al., 2011). Os compostos bioativos extraídos das folhas apresentam altos níveis de compostos fenólicos, sendo os majoritários a catequina, epicatequina, epigallocatequina galato, ácido gálico e o cafeíco (BRITO et al., 2015).

O juazeiro é uma espécie frutífera que produz frutos amarelo-claro, do tipo drupa globosa envolto por uma polpa mucilaginosa doce e branca, popularmente conhecidos como “juá”. Entretanto são subutilizados servindo apenas para alimentação animal durante a seca, com grande importância socioeconômica para os nordestinos.

O juá apresenta várias aplicações industriais, tais como o consumo dos frutos de forma *in natura* ou processados como doces e geleias, com princípio de diminuir as perdas pós-colheita ocasionadas pela alta atividade de água do fruto (SOUSA et al., 2013). Estudos da composição química e nutricional do juá, demonstram que os frutos apresentam elevada umidade, alta concentração de carboidratos, e de vitamina C (SILVA et al., 2011; SILVA, 2014). Entretanto, não existem na literatura estudos que contemplem o potencial nutricional, o potencial fenólico e propriedade antioxidante do juá.

Considerando os estudos científicos já apresentados para a espécie *Z. joazeiro*, observou-se a necessidade de uma abordagem científica sobre o potencial nutricional e as propriedades antioxidantes do juá nativo do Estado da Paraíba. Assim esta pesquisa objetivou caracterizar os frutos de juá coletados em quatro distintas regiões quanto aos parâmetros morfológicos, composição físico-química e nutricional bem como os compostos bioativos e suas propriedades antioxidantes, avaliando a bioacessibilidade dos compostos fenólicos e atividade antioxidante das frações bioacessíveis dos frutos de juá, demonstrando a influência das condições edafoclimáticas na composição dos frutos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 IDENTIFICAÇÃO BOTÂNICA E OCORRÊNCIA DO GÊNERO *Ziziphus*

O gênero *Ziziphus*, pertencente à família Rhamnaceae, compreende cerca de 170 espécies disseminadas em vários continentes do mundo, sendo largamente cultivada em regiões de clima tropical e subtropical (GAO; WU; WANG, 2013).

A espécie *Ziziphus jujuba* Mill. popularmente chamado de jujuba, nos países europeus e asiáticos, é bastante cultivada favorecido pelas condições climáticas (GAO; WU; WANG, 2013). A grande parte da produção do fruto é consumida fresca ou seca, tendo em vista os inúmeros estudos focados nas suas propriedades biológicas e nutricionais, sendo considerado o fruto mais valioso produzido no território chinês (LI et al., 2007; LITARDO; QUIRUMBAY, 2015).

As árvores frutíferas do jujuba *Z. jujuba* produzem os seus frutos na época do outono, estando bem adaptada nas áreas temperadas e subtropicais do hemisfério norte, especialmente nas partes mais secas do norte da China (ZHANG et al., 2010).

A China é a maior produtora do fruto com mais de 700 cultivares. Em 2014, sua produção atingiu 345.300 toneladas, sendo responsável por 90% da exportação da jujuba (LU et al., 2012; LI et al., 2017).

No Brasil, nove espécies do gênero *Ziziphus* já foram identificadas em diferentes regiões do país (Tabela 1). Dentre as espécies endêmicas, o *Z. mauritiana* e o *Z. joazeiro* se destacam pelas suas propriedades químicas, nutricionais e biológicas, com alta relevância científica no Brasil (LIMA, 2015).

Tabela 1 – Regiões com ocorrência natural do gênero *Ziziphus* no Brasil

Regiões	Gênero <i>Ziziphus</i>
Norte	<i>Z. cinnamomum</i> ; <i>Z. mauritiana</i> Lam
Nordeste	<i>Z. cinnamomum</i> ; <i>Z. cotinifolia</i> Reissek; <i>Z. guaranitica</i> Malme ; <i>Z. platyphylla</i> Reissek ; <i>Z.</i>
Sudeste	<i>Z. mauritiana</i> Lam., <i>Z. oblongifolia</i> S. Moore, <i>Z. platyphylla</i> Reissek e <i>Z. undulata</i> Reissek
Centro-oeste	<i>Z. guaranitica</i> Malme, <i>Z. oblongifolia</i> S. Moore

Fonte: Flora Brasil, 2015

A espécie *Z. mauritiana* é encontrada na região norte do Brasil, principalmente nos Estados de Rondônia e Roraima. Esta espécie, nativa da Índia, é uma planta resistente a altas temperaturas, tolerando condições adversas como salinidade e seca. As suas árvores são espinhosas, perenes e pequenas medindo até 15 metros de altura, com tronco de 40 cm de diâmetro (MARUZA et al., 2017). Os seus frutos do tipo drupa globosa e oval, possuem polpa branca, crocante e succulenta (ORWA et al., 2009) e são comumente conhecidos como dão, jujuba e maçã de pobre (LIMA, 2015).

No Estado da Paraíba encontram-se quatro espécies do gênero *Ziziphus*, a *Z. cotinifolia*, *Z. platyphylla*, *Z. undulata* e a *Z. joazeiro*, sendo esta última a mais conhecida entre a população do Nordeste brasileiro (LIMA, 2015).

O *Z. joazeiro* é uma planta endêmica do bioma da Caatinga, com sua vegetação típica do sertão e agreste brasileiro. Esta espécie é uma árvore perenifólia que poderá atingir até 16 metros de altura (SOUSA, 2016).

A espécie *Z. joazeiro* está disseminada de forma natural no bioma da Caatinga nas regiões do semiárido dos Estados da Bahia, Ceará, Maranhão, Pernambuco, Piauí, Sergipe, Paraíba, Rio Grande do Norte (ATLAS, 2011; EMBRAPA, 2007). A ocorrência das árvores do juazeiro (Figura 1) é influenciada pelos fatores climáticos e dispersão das sementes, já que os frutos servem de alimento para os animais (SANTOS et al., 2016).

Figura 1 – Planta *Z. joazeiro* com frutos



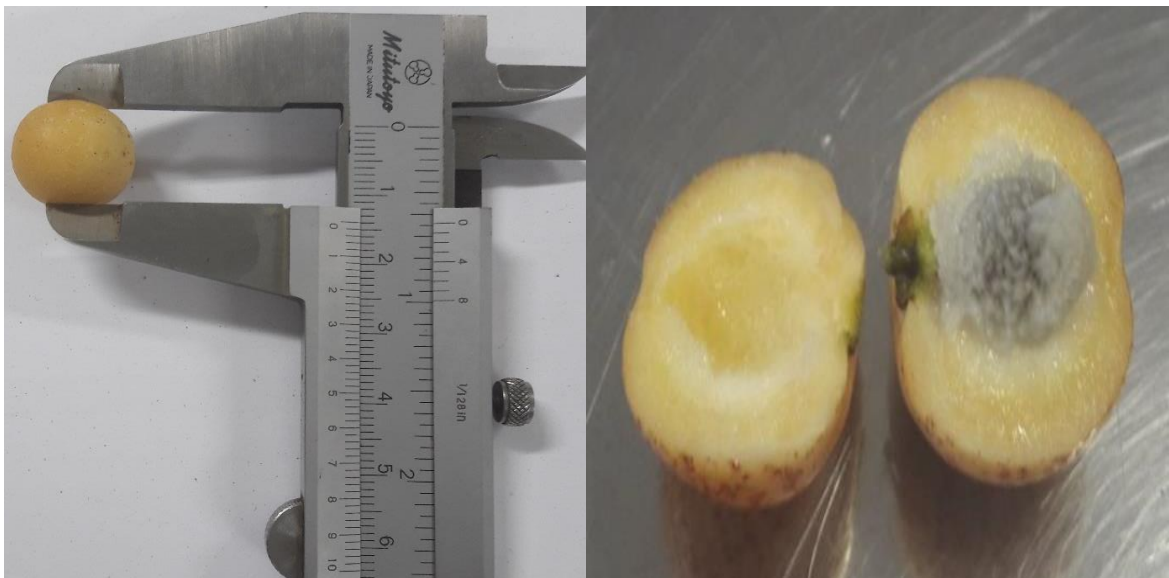
Fonte : Autor (2017)

As árvores do joazeiro florescem no final da estação da seca nos meses de outubro à dezembro produzindo seus frutos de forma sazonal, no período chuvoso do semiárido, entre os meses de janeiro à maio, chegando até junho (DINIZ, 2016; FEITOZA et al., 2016). Os frutos são popularmente conhecidos como juá, também identificados pelos nordestinos como juazeiro ou joazeiro, juá, juá-espinho, juá-fruta, laranjeira do vaqueiro, juá-de-boi (EMBRAPA, 2007; SANTOS et al., 2016).

2.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E NUTRICIONAIS DO JUÁ (*Z. joazeiro*) E DO JUJUBA (*Z. jujuba*)

O juá (Figura 2) é um fruto do tipo drupa globosa de coloração amarelo-pardo, possui um caroço grande envolto de uma polpa mucilaginoso doce e branca, bastante apreciado pela população local do semiárido brasileiro devido ao seu sabor agradável (CAVALCANTI et al., 2011; LORENZI, 2009). Os frutos são pequenos medindo de 1,0 ou 2,0 cm de diâmetro podendo ser redondo ou ovoides, com peso que varia de 2 à no máximo 10 g (SILVA et al., 2017).

Figura 2 - Fruto juá (*Z. joazeiro* Mart.)



Fonte: Autor (2017)

Por ser um fruto climatérico, o juá sofre mudanças qualitativas e quantitativas devido ao processo de respiração que consequentemente produz metabólitos secundários que modificam

durante as etapas de maturação suas características físicas e químicas (FENEMMA, 2010; SILVA et al., 2017). Assim, o juá maduro apresenta um elevado teor de sólidos solúveis e uma baixa acidez, o que contribui para sua boa palatabilidade (MONIZ, 2002). É um fruto muito apreciado pelas crianças e adultos sertanejos do Nordeste, pois sacia a fome e a sede em tempo de seca (EMBRAPA, 2007).

A composição química do juá apresenta níveis de macro nutrientes, possíveis de comprovar as maiores frações para os carboidratos e as menores para os teores de proteínas, lipídeos e cinzas (SILVA, 2014).

Estudos demonstram que a polpa do juá apresenta alta atividade de água variando de 0,94 a 0,98% (DINIZ, 2016), assim tornando os frutos perecíveis (SOUZA et al., 2013). O fruto apresenta elevada umidade variando de 71,47 a 79,01% (DINIZ, 2016; MONIZ, 2002; SILVA; 2014).

Os sólidos solúveis totais são relativamente altos no juá, em torno de 19,6 Brix° (Souza et al, 2013), comparados com outras frutas nativas como quipá (9,4 Brix°) e ubaia azeda (12,2 Brix°) (MONIZ, 2002 ; NASCIMENTO et al., 2011). O teor de sólidos solúveis no juá difere em diferentes regiões do Nordeste. Estudos como de Silva et al.(2017) e Nascimento et al. (2011) identificaram valores distintos de sólidos solúveis, variando de 18,98 a 21,50 Brix° nos estados do Rio Grande do Norte e Paraíba.

O juá apresenta uma expressiva quantidade de carboidratos, 24,12% segundo Diniz (2016), entretanto, ainda existem lacunas na literatura sobre estudos exploratórios das suas propriedades biológicas e dos benefícios do consumo do fruto à saúde humana.

Quanto à composição lipídica e proteica do juá, esses macros nutrientes são minoritários nos frutos. Os teores lipídicos são variáveis de 0,52 à 1,15 g/100g (DINIZ, 2016; NASCIMENTO et al., 2011). Em relação à proteína, o estudo de Nascimento et al. (2011) identificou um valor máximo de 2,19 g/100g para o juá do estado da Paraíba.

Os resultados do conteúdo de cinzas dos estudos de Sousa et al. (2013) e Nascimento et al. (2011) apresentaram variação de 0,73 à 1,21 g/100g na avaliação da composição química dos frutos da Paraíba. Os minerais presentes nas cinzas do juá são de grande relevância. O total de minerais identificados por Silva et al. (2017) em frutos do Estado do Rio grande do Norte, obtiveram 208,30 mg/100g, com destaque para os maiores conteúdos de potássio (165,29 mg/100g) e magnésio (16,91 mg/100g) g), além dos minerais sódio (6,94 mg/100g) e o zinco (0,15 mg/100g) (SILVA et al., 2017).

Com relação à jujuba *Z. jujuba*, o fruto é mais explorado cientificamente em comparação com juá. Na literatura há relatos diversos de estudos das propriedades nutricionais e físico-químicas do fruto (LI et al., 2007; GAO et al., 2012).

A jujuba é uma drupa oval, redonda, de cor inicialmente verde passando à marrom avermelhado, com polpa firme e esponjosa, medindo de 2 à 3 cm de comprimento. O seu peso varia de 5 à 20 gramas (ZHANG et al., 2010).

O fruto é rico em açúcares. Os dados apresentados por Reche et al, (2018) para cultivares de *Z. jujuba* apresentaram variação de 17,23 a 24,07 Brix° no teor sólidos solúveis. Esses valores diferem entre os cultivares *Isidro*, *Rate* e *Phoenix* dos frutos jujuba em decorrência a técnicas de cultivo e manejo do solo, além dos fatores edafoclimáticos que influenciam naturalmente no conteúdo de sólidos solúveis durante o desenvolvimento dos frutos (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Pesquisa avaliando o fruto do *Z. jujuba* demonstrou elevada concentração de carboidratos, sendo os polissacarídeos os majoritários presentes no fruto com um rendimento de 8,11% após a extração do fruto seco (YAN; WANG; WU, 2014). A maioria dos polissacarídeos no jujuba são compostos de ramnose, arabinose, glicose e galactose em diferentes proporções molares, o que os caracteriza como um grupo importante dos constituintes biologicamente ativos (JI et al, 2017).

Recentes estudos demonstram que os polissacarídeos são os principais grupos de compostos bioativos presentes no jujuba, apresentando diversos efeitos biológicos, a citar: antioxidante, imunomodulador, antitumoral, hepatoprotetor, atividade hipoglicêmica e efeitos protetores gastrointestinais (JI et al., 2017; XIAOLONG et al., 2017).

Em relação aos demais macro nutrientes, os frutos do jujuba apresentaram valores baixos no teor de lipídeos, variando de 0,06 à 0,10 g/100g e proteína de 0,37 à 0,61 g/100g (SAN; YILDIRIM, 2010; RECHE et al., 2018). Esses relatos comprovam que os conteúdos lipídicos e proteicos do jujuba e do juá são baixos, confirmando valores inferiores desses macros nutrientes para o gênero *Ziziphus*.

Para os micronutrientes, os frutos se destacam no conteúdo de minerais. Os teores de potássio (5,0 mg/100g), magnésio (10,00 mg/100g) e cálcio (4,00 mg/100g) são prevalentes no jujuba, sendo o sódio (3,00 mg/100g) e zinco (0,05 mg/100g) apresentando valores inferiores em comparação com os demais minerais (LITARDO; QUIRUMBAY, 2015).

2.3 COMPOSTOS FENÓLICOS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE NAS ESPÉCIES *Z. joazeiro* e *Z. jujuba*

Os compostos fenólicos são metabólitos secundários de plantas que desempenham um papel importante na pigmentação, crescimento, reprodução e resistência das plantas (GHASEMZADEH; GHASEMZADEH, 2011). Os compostos fenólicos se acumulam na epiderme dos frutos, por essa razão a maioria das frutas apresentam uma quantidade elevada de fenólicos nas cascas em relação à polpa. Além de terem um papel potencial na proteção contra os raios ultravioletas, também atuam como atrativos na dispersão de frutas (XUE et al., 2009).

Os compostos fenólicos passam por uma série de biossíntese complexa durante a maturação e a sua bioatividade, bem como a sua composição química podem ser influenciada pela maturidade dos frutos (CHEN et al., 2013; CHOI et al., 2012; WANG et al., 2016; WU et al., 2012) Em geral, os compostos fenólicos nos alimentos são classificados como livres e conjugados baseado na localização da planta, juntamente com a estrutura química destas substâncias (REIS GIADA, 2013). Alguns compostos são facilmente extraídos em solventes orgânicos, enquanto outros estão ligados a polissacarídeos da parede celular ou proteínas, formando complexos estáveis e insolúveis (WANG et al., 2016).

Os compostos fenólicos identificados em frutos jujuba (*Z. jujuba*) apresentaram propriedades antioxidantes sendo recomendado o seu consumo como importante fonte alimentar (JI et al, 2017; SAN; YILDIRIM, 2010; ZHANG et al, 2010).

Um estudo com frutos jujuba (*Z. jujuba*) quantificou diferentes compostos fenólicos como: catequina (2,46 a 3,04 mg/100g), ácido cafeíco (3,80 a 5,30 mg/100g), epicatequina (0,19 a 0,48 mg /100g), ácido ferúlico (0,22 mg /100g), rutina (0,88 a 3,60 mg/100 g) e ácido clorogênico (0,11 a 0,28 mg /100 g) (SAN; YILDIRIM, 2010).

Outro estudo de compostos fenólicos de frutos jujuba, estes do Norte da China, com distintos estádios de maturação, demonstrou que a rutina está presente em maior quantidade no fruto semi-maduro (925,83 µg/g), sendo relatado como um composto predominante na jujuba, seguido dos ácidos p-cumárico (34,70 µg/g), cafeíco (637,88 µg/g) e clorogênico (366,53 µg/g) (WANG et al, 2016).

O conteúdo de ácidos fenólicos identificados nos frutos jujuba é expressivo e varia de acordo com o estágio de maturação do fruto. Para o ácido gálico houve variação no fruto maduro (56,8%) para o semi-maduro (76,4%). A investigação comprovou que os compostos

fenólicos sofrem degradação ao decorrer do processo de desenvolvimento do fruto (WANG et al, 2016).

Reche et al. (2018) ao analisarem a casca e a polpa do jujuba separadamente, identificaram conteúdo de fenólicos totais na casca de 457 mg/100g e na polpa 386 mg/100g. Dentre os flavonoides quantificados, os flavonóis representaram de 6 a 11% do total de compostos fenólicos quantificados, e a quercetina e seus derivados, especialmente a quercetina-3-O-rutinosídeo, foram os predominantes dentre os flavonóis.

A determinação da atividade antioxidante do jujuba (*Z. jujuba*) foi relatada por diversos autores (WANG et al, 2011; WOJDYŁO et al, 2016; ZHANG et al, 2010). A casca dos frutos da jujuba apresentaram maior atividade antioxidante (3852,88 mg eq. Ac. ascórbico/100 g) em comparação com a polpa (982,31 mg eq. Ac. ascórbico/100 g) e a semente (639,05 mg eq. Ac. ascórbico /100 g), avaliados pelo método FRAP (ZHANG et al., 2010).

A elevada atividade antioxidante dos frutos do *Z. jujuba* foi atribuído à presença de flavonoides, tais como flavanóis e flavonóis (WOJDYŁO et al, 2016). A concentração de fenólicos totais de diferentes cultivares de jujuba (*Junzao*, *Lingbaozao*, *Zanhuangzao*, *Jinzao* e *Lizao*) influenciou na atividade antioxidante. Esta diferença entre os cultivares foi comprovada pelo resultado do ensaio de captura do radical DPPH, onde demonstrou que a ação antioxidante entre os frutos jujuba *Zanhuangzao* obteve valores inferiores 2681,1 mol eq. Trolox /100 g comparado ao cultivar *Lingbaozao* 5631,8 mol eq. Trolox/100 g (GAO et al., 2011).

No estudo de Reche et al. (2018), foram analisados frutos de jujuba com distintos estádios de maturação, na qual observou-se que a ação de captura do radical DPPH difere entre os cultivares: (*Isidro*) 61,70 mol eq. Trolox/100 g, (*Rate*) 61,45 mol eq. Trolox/100 g e (*Phoenix*) 11,05 mol eq. Trolox/100 g. O cultivar (*Isidro*) apresentou maior atividade antioxidante devido ao alto conteúdo de compostos fenólicos presentes no fruto, justificando a maior bioatividade. Além disso, a relação da maturação dos frutos explica a melhor ação da atividade sequestradora do radical DPPH.

Diversos estudos avaliaram as propriedades antioxidantes de partes da planta espécie *Z. joazeiro* (BRITO et al., 2015; SOUSA, 2016; MELO et al., 2012), porém estudos relativos à identificação dos fenólicos presentes nos frutos e suas propriedades antioxidantes são escassos na literatura.

Algumas classes de flavonoides já identificados na planta do *Z. joazeiro* resultaram do isolamento destas substâncias consideradas bioativas com potencial antioxidante (SOUSA, 2016). No extrato das folhas do juazeiro foram quantificados os compostos fenólicos dentre os

quais se destacam os flavonoides (55,57 mg/100g), ácidos cafeíco (29,61 mg/100g) e elágico (15,09 mg/100g), catequina (5,28 mg/100g) e epicatequina (4,83 mg/100g) (BRITO et al., 2015).

Os flavonoides detectados nas folhas do *Z. joazeiro* apresentaram propriedades antioxidantes de 735,72 µg eq. Ácido ascórbico /mL de extrato para o ensaio DPPH (BRITO et al., 2015). De acordo com estudo de Silva (2009), os extratos das folhas do *Z. joazeiro* apresentam uma atividade antioxidante menor (CE50 = 461,88 µg eq. Ac. ascórbico/mL) quando comparada com a da casca (CE50 = 1743,05 µg eq. Ac. ascórbico/mL). Esse fato se deve provavelmente ao conteúdo de compostos bioativos presentes nesta espécie resistente a altas temperaturas, apresentando estruturas químicas com propriedades antioxidantes (MELO et al., 2012).

O *Z. joazeiro* é uma espécie que se adapta melhor em climas quentes, e que desenvolve-se naturalmente em climas semi-úmido, subúmido e semi-árido (EMBRAPA, 2007). Esses fatores climáticos podem influenciar no conteúdo de metabólitos secundários que possuem ação protetora produzidos pela planta, em relação a mudanças de temperatura, conteúdo de água, níveis de luz, exposição aos raios ultravioleta (UV) e deficiência de nutrientes minerais (SOUZA, 2016).

2.4 QUALIDADE PÓS-COLHEITA E IMPORTÂNCIA TECNOLÓGICA DO JUÁ (*Z. joazeiro* Mart).

A qualidade pós-colheita do juá é influenciada pela época de colheita, já que a planta é sazonal e produz seus frutos entre fevereiro à julho (GOBBO-NETO; LOPES, 2007). O período de produção dos frutos difere entre regiões. Os frutos maduros ocorrem de junho à julho no Ceará e em Pernambuco, já na Paraíba a partir do mês de abril os frutos encontram-se no momento ideal para colheita (EMBRAPA, 2007). A determinação da maturidade fisiológica do fruto é importante para orientar a época ideal de colheita, sendo para o juá identificada pela mudança de cor, que auxilia durante a colheita na determinação do ponto de maturação (CHITARRA; CHITARRA, 2005; PESSOA et al., 2012).

Segundo Silva et al. (2017), os frutos de juá em diferentes estádios de maturação armazenados por 6 dias em temperatura ambiente (28 ± 2 ° C) e umidade relativa controlada (55 ± 5 %), sofreram com o aparecimento de fungos, apodrecimento do fruto, odor desagradável e maciez elevada da polpa do fruto. Este estudo demonstra que os frutos possuem alta taxa de respiração, provocando alterações bioquímicas, favorecendo a um rápido amadurecimento.

Iniciadas as reações de senescência, ocorrerá o consumo dos substratos acumulados pelo próprio fruto, o que promove redução da massa da polpa e conseqüentemente de todo o fruto.

O juá quando maduro, é geralmente mais adocicado. Na fase de desenvolvimento e maturação, os componentes físicos e químicos sofrem mudanças qualitativas e quantitativas acentuadas, tais como mudança na coloração e acréscimo de açúcares (MONIZ, 2002). No juá, independentemente de estágio de maturação, os frutos apresentam em sua constituição maior quantidade de água e carboidratos (CAVALCANTI et al, 2011).

A planta *Z. joazeiro* tem grande importância econômica, ecológica e farmacológica, bastante utilizada para produção de lenhas e carvão, arborização de ruas e jardins. Os extratos provenientes de folhas, caule e cascas são explorados como medicamentos tradicionais na medicina, com base no conhecimento popular, combatendo problemas no fígado, produção de tônicos capilares, tratamento de asma, doenças de pele, combate à caspa, entre outros fins (LORENZI, 2009; SANTOS et al., 2016).

Estudos realizados com extratos das folhas do juazeiro detectaram uma grande quantidade de substâncias químicas como as saponinas, sendo observada a formação de uma espuma persistente quando os extratos são agitados em água (RIBEIRO et al., 2013; BRITO et al., 2015). Essas substâncias desempenham funções fisiológicas importantes para a planta, bem como proteção contra patógenos (RIBEIRO et al., 2013). Além disso, suas propriedades tecnológicas (formação de espuma, emulsificação, solubilização, doçura, amargor) e biológicas (antimicrobianas, inseticidas) são exploradas em muitas aplicações pelas indústrias, o que justifica seu principal uso comercial na fabricação de sabão como um produto de higiene pessoal com propriedades detergentes (FONSECA; BRANCO, 2014; RIBEIRO et al., 2013).

As inflorescências do juazeiro são compostas por flores amarelas e pequenas que fornecem principalmente o néctar, recurso coletado pelos visitantes florais, entre eles vespas e abelhas nativas (SILVA et al, 2012). As condições climáticas são extremamente importantes. As árvores do juazeiro potencialmente têm maior resistência às mudanças de temperatura e umidade relativa, e podem levar à produção constante de néctar (HASSAN, 2017).

As abelhas indígenas sem ferrão da tribo Meliponini usufruem do néctar das flores do juazeiro para produção do mel, gerando renda para produtores da Caatinga (NADIA et al., 2007). Os méis monoflorais do juazeiro apresentam um perfil de compostos fenólicos associado à planta (SOUSA et al, 2016).

O fruto do juá caracteriza-se como uma matéria-prima de grande potencial além do seu consumo *in natura* como para industrialização (SOUSA et al, 2013). Com o intuito de disseminar o consumo e o potencial de comercialização do juá, torna-se muito importante a

adoção de técnicas de conservação, que além de agregar valor econômico a um produto bastante nutritivo e atrativo sensorialmente, coloque em evidência o potencial de alimentos do sertão nordestino (FEITOZA et al., 2016). Algumas pesquisas vêm utilizando o juá na sua forma desidratada para produção da farinha (DINIZ, 2016; CAVALCANTI et al., 2011). A produção de uma farinha dos frutos visa aumentar a vida de prateleira devido à redução da umidade, valorizando o juá como alternativa para o aproveitamento em formulações alimentícias na panificação (CAVALCANTI et al., 2011).

O estudo de Diniz (2016) resultou na produção de uma farinha com o juá a partir de secagem com ar quente. O produto apresentou umidade menor que 15% e melhores características nutricionais de proteínas, cinzas e carboidratos. Além disso, a pesquisa analisou as sementes do fruto com relação ao seu perfil de ácidos graxos, com predominância de monoinsaturados e poli-insaturados, destacando-se o alfa linolênico (15,63 %) em relação ao linoleico (10,20 %), demonstrando assim que o óleo da semente do juá apresenta uma ótima alternativa em substituição a outros óleos vegetais (DINIZ, 2016)

Segundo Silva et al. (2014), a conservação do juá por meio da fermentação láctica espontânea gerou resultados satisfatórios nos aspectos sensoriais e preservação do fruto. As conservas, preparadas a partir do juá fermentado, podem ocupar um importante espaço no processamento agroindustrial, viabilizando o aproveitamento de matérias-primas do sertão pouco exploradas, na produção de alimentos.

De modo geral, os frutos de juá possuem elevada aplicação tecnológica, podendo ser empregados em várias formulações alimentícias.

2.5 BIOACESSIBILIDADE DE COMPOSTOS FENÓLICOS EM FRUTAS

A maioria das propriedades benéficas das frutas são atribuídas aos compostos bioativos. Entre estes, os compostos fenólicos são extensivamente estudados devido aos seus diversos benefícios à saúde (ACOSTA-ESTRADA; GUTIERREZ-URIBE; SERNA-SALDIVAR, 2014).

As frutas possuem nas suas matrizes alimentares compostos fenólicos na sua forma conjugada e livre. Em média, 24% do total dos fenólicos são identificados na sua forma conjugada (ACOSTA-ESTRADA; GUTIERREZ-URIBE; SERNA-SALDIVAR, 2014). Os ácidos fenólicos estão presentes principalmente na sua forma livre, enquanto os flavonoides se apresentam na sua forma glicosilada, com uma ou várias porções de açúcares ligadas através de um grupo OH (O-glicosídeos) (CHANDRASEKARA; SHAHIDI, 2010). Entender essas

formas de interação dos compostos fenólicos e as matrizes alimentares de frutas em condições similares ao sistema digestivo (*in vivo*) permite o conhecimento de como esses compostos se comportam, relacionado com a sua estrutura química, igualmente correlacionado com a absorção e metabolismo (BERGAMASCHI, 2010).

As modificações que ocorrem nos compostos fenólicos durante as etapas de digestão poderão ocasionar alterações na bioacessibilidade, e, conseqüentemente, sua bioatividade poderá ser comprometida (XIAO et al, 2014). A bioacessibilidade é frequentemente avaliada em muitas áreas da pesquisa. Este parâmetro compreende a fração de um composto que é liberado da matriz alimentar durante a digestão, ou seja, para exercer atividade biológica a fração de um composto fenólico deve estar potencialmente disponível e efetivamente ser absorvido do trato intestinal para a circulação sanguínea (SCHULZ et al., 2017; CHANDRASEKARA; SHAHIDI, 2012; XIAO et al, 2014)

A digestão gastrointestinal *in vitro* simula algumas condições gastrointestinais biológicas (utilizando enzimas gástricas e pancreáticas) e químicas (pH, temperatura e sais biliares), como também avalia a estabilidade e absorção dos compostos fenólicos e se a atividade antioxidante é alterada durante a digestão (TAGLIAZUCCHI et al., 2010).

A estabilidade dos compostos fenólicos de frutas durante a simulação da digestão *in vitro* vem sendo bastante avaliada pelos pesquisadores (DANTAS et al., 2019; DUTRA et al., 2017; GULLON et al., 2015; LUCAS-GONZÁLEZ et al., 2018; MOSELE et al 2015). A exposição dos compostos fenólicos aos fatores intrínsecos do meio, que simulam as condições gastrointestinais *in vitro*, influenciou no resultado de Mosele et al., (2015) e Dantas et al. (2019).

Autores como Mosele et al. (2015) verificaram a influência do tempo e das condições gastrointestinais na matriz alimentar de romã durante a digestão *in vitro*, identificando que os fenólicos presentes nos frutos não foram absorvidos por consequência da maior exposição ao metabolismo do cólon.

O estudo de Dantas et al. (2019) confirmou que a simulação das condições gastrointestinais reduziu o conteúdo de compostos fenólicos como as antocianinas, em polpa de frutas de açaí, amora e jabuticaba, com as frutas mirtilo e framboesa permanecendo com antocianinas estáveis na fração bioacessível.

Relatos de autores como Tiveron, (2010) e Peixoto et al. (2016) justificam que alguns compostos fenólicos são instáveis, sendo facilmente oxidáveis tanto por meio de enzimas vegetais específicas, quanto por influência de metais, luz, calor ou em meio alcalino,

ocasionando o escurecimento de soluções ou compostos isolados, e assim ocasionando uma diminuição da fração bioacessível.

Segundo Gullon et al. (2015), durante o ensaio de digestão gastrointestinal, os teores de compostos fenólicos obtidos pelas etapas da boca, gástrica e intestinal sofreram uma redução considerável. A recuperação total de fenólicos após 8 horas de digestão intestinal foi profundamente afetada em relação aos passos de digestão gástrica e bucal com recuperação de 46,02 %. Esse fenômeno pode ser explicado pela exposição da matriz alimentar a condições gastrointestinais na qual uma proporção dos compostos fenólicos é transformada em diversas estruturas, formas com distintas propriedades químicas (BERMÚDEZ-SOTO, TOMÁS-BARBERÁN, GARCIA-CONESA, 2007).

No geral, os diferentes níveis de bioacessibilidade dos compostos fenólicos estão relacionados com interações da matriz alimentar com fibras solúveis e insolúveis e com nutrientes como proteínas e polissacarídeos, exercendo um efeito protetor durante a digestão (PEIXOTO et al., 2016). Essas interações formam complexos insolúveis que podem afetar negativamente na absorção dos nutrientes (FERNÁNDEZ-GARCÍA et al., 2009). No entanto, a possível eficácia da bioatividade dos compostos no corpo humano é determinada pela disponibilidade destas moléculas (SCHULZ et al, 2015).

No final do processo de digestão gastrointestinal, os compostos fenólicos ligados a esses compostos de diferentes matrizes alimentares permanecem em alta concentração, isso devido à liberação dos complexos pela ação de enzimas intestinais, assim, transformada em fenólicos e metabólitos que são subsequentemente absorvidos pelo organismo (LUCAS-GONZÁLEZ et al, 2018; WANG et al, 2016).

O método de digestão gastrointestinal *in vitro*, utilizado para avaliar a bioacessibilidade, se torna de grande importância para investigar os efeitos das condições como pH, enzimas e temperatura em diferentes matrizes alimentares de frutas, quantificando os compostos bioativos que podem ser absorvidos pelo organismo humano (HUR et al, 2011; MOSELE et al., 2016).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 SUBSTÂNCIAS QUÍMICAS E REAGENTES

Pepsina, α -amilase, pancreatina, sais biliares foram obtidos da empresa Sigma-Aldrich (St. Louis, MO). O ácido clorídrico (HCl) (37% m / m), ácido sulfúrico (H₂SO₄), etanol, metanol e hexano foram adquiridos da empresa Neon (São Paulo, Brasil). Os reagentes de ácido 2, 2'-difeníl-2-picrilhidrazilo (DPPH), 2, 6-diclorofenol-indofenol (DCFI), ácido hidroxil-2,5,7,8-tetrametilcromano-2-carboxílico (Trolox) foram obtidos da Sigma-Aldrich Chemical, SA (Hamburgo, Alemanha) e 2,4,6-tris (2-piridil)-s-triazina (TPTZ) obtida de Sigma-Aldrich Chemical, SA (Milano, Itália).

Os padrões de compostos fenólicos, açúcares e ácidos orgânicos a citar: ácido benzóico, ácido cafeico, ácido clorogênico, ácido elágico, ácido ferúlico, ácido gálico, ácido gentísico, ácido salicílico, ácido sinápico, ácido siríngico, ácido trans-cinâmico, ácido p-cumárico, ácido protocatecuico, ácido vanílico, miricetina, quercetina, narigenina, catequina, kampferol, hespertina, rutina, glicose, frutose, maltose, ramnose, cítrico, málico, tartárico, succínico, láctico, fórmico, acético e butílico foram adquiridos da Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, EUA). Todos os reagentes químicos utilizados nas experiências foram de grau analítico.

3.2 CONDIÇÕES DE COLETA DOS FRUTOS JUÁ

Os frutos de juá (*Ziziphus joazeiro* Mart) foram coletados em quatro regiões distintas da Paraíba-Brasil. Na Mata Paraibana (latitude 07°14' 07" S x longitude 34° 84' 66" W), Agreste Paraibano (latitude 07°21'26" S x longitude 35° 26' 26" W), Borborema (latitude 7°28'45" S x longitude 36°54'18" W) e Sertão Paraibano (latitude 06° 77' 02" S x longitude 36° 80' 16" O). As árvores do juazeiro selecionadas para coleta dos frutos foram identificadas e documentadas no Herbário Lauro Pires Xavier na Universidade Federal da Paraíba. Os frutos foram colhidos no período de Fevereiro à Junho de 2018, pela manhã, sendo retirados das árvores manualmente de forma aleatória, com frutos uniformes em estágio de maturação comercial. Os frutos foram divididos em 3 lotes distintos de 400g para cada árvore selecionada, posteriormente os frutos foram transportados para o Laboratório de Processamento de Alimentos, do Departamento de Tecnologia de Alimentos sob condições de refrigeração ± 4 °C em caixas térmicas.

3.3 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Inicialmente, os frutos foram selecionados removendo frutos com injúrias e podridões. Em seguida os frutos foram submetidos à higienização e sanitização com solução de água clorada a 100 ppm por 15 min. Por fim os frutos foram despulpados em despulpadeira horizontal (Des-60, Braesi) e a polpa homogeneizada em liquidificador industrial (800w, Fak). As polpas do juá foram armazenadas em sacos herméticos de polietileno e congeladas para posteriormente serem liofilizadas à - 45 °C (modelo LS 3000, Terroni Equipamentos, Brasil).

3.4 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

As características morfológicas do juá foram definidas seguindo uma amostragem de 100 gramas de frutos por lote. O peso (g) de cada fruto foi medido utilizando uma balança digital (AY220, Shimadzu, Kyoto, Japão). As medidas do diâmetro longitudinal (mm) e diâmetro transversal (mm) foram determinadas com auxílio de um paquímetro (536, Mitutoyo (UK) Ltd, Telford, UK) de acordo com metodologia descrita por RECHE et al., 2018; SILVA et al., 2017.

3.5 CARACTERIZAÇÃO NUTRICIONAL E FÍSICO-QUÍMICA

Os métodos recomendados pela Association of Official Analytical Chemicals (AOAC, 2016) foram utilizados para determinar a composição físico-química e nutricional dos frutos de juá.

Os sólidos solúveis totais foram determinados na polpa homogeneizada a 20° C usando refratômetro (RT-90 ATC, Instrutherm) e os resultados expressos em °Brix (método 932.14).

O potencial hidrogeniônico (pH) foi determinado utilizando um pHmetro digital (PHS3BW, Bel engineering), após diluição de 10 g de polpa homogeneizada em 100 ml de água deionizada.

A umidade foi determinada usando 5 g de polpa em uma estufa a 70 ± 2 ° C (TE-393, Tecnal, São Paulo, Brasil) até peso constante (método 925.09).

O conteúdo de proteína bruta (método 991,02) foi calculado a partir do teor total de nitrogênio determinado pelo método de Kjeldahl, utilizando um fator de conversão de 5,75.

Os lipídeos totais (método 989.05) foram determinados por extração com Soxhlet. O teor de cinzas foi determinado pelo método gravimétrico (método 935,42)

As fibras totais foram quantificadas pelo método enzimático- gravimétrico (método 985.29) utilizando um kit de ensaio para fibra dietética total (Sigma TDF-100 A). Todas as análises foram realizadas em triplicata.

3.6 PERFIL DE AÇÚCARES E ÁCIDOS ORGÂNICOS POR CROMATOGRAFIA LÍQUIDA DE ALTA EFICIÊNCIA (CLAE)

As amostras de juá foram analisadas pelo conteúdo de açúcares (glucose, frutose, maltose e ramnose) e ácidos orgânicos (cítrico, málico, tartárico, succínico, láctico, fórmico, acético e butílico). Para preparação dos extratos conforme descrito por Gao et al.(2012), foram utilizados 2 g de amostra liofilizada em 20 mL de água deionizada sendo submetida a uma extração em banho de ultrassom (UNIQUE, modelo USC-1800, Brasil) a 40 KHz durante 60 minutos em $25 \pm 2^\circ\text{C}$. O sobrenadante foi separado usando centrífuga, modelo SL-701 (Solab, São Paulo, Brasil) a 6000 g por 15 min. O resíduo foi re-extraído repetindo os passos acima sob as mesmas condições. Os sobrenadantes foram combinados e filtrados através de um filtro de seringa de $0,45 \mu\text{m}$ (PTFE).

As amostras foram analisadas em sistema CLAE seguindo metodologia de Coelho et al. (2018). Para cada análise, foram utilizados 10 μL de amostra injetada em uma coluna de troca iônica Agilent Hi-Plex H ($300 \times 7,7 \text{ mm}$), com partículas internas de $8,0 \mu\text{m}$ protegidas por uma coluna de PL Hi-Plex H ($5 \times 3 \text{ mm}$) (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, EUA). A temperatura do compartimento da coluna foi mantida a $70 \pm 2^\circ \text{C}$ e a célula de fluxo com detector de índice de refração (RID) mantida a $50 \pm 2^\circ\text{C}$. A vazão aplicada foi de 0,5 mL por min com tempo de execução de 20 min. A fase móvel foi 4,0 mL H_2SO_4 em água ultrapura. Para a determinação dos ácidos orgânicos utilizou-se um detector DAD a 210 nm e para os açúcares a detecção foi realizada pelo RID. As concentrações foram expressas em mg/100 g de peso seco para os ácidos orgânicos e g/100g para os açúcares.

3.7 EXTRAÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS LIVRES E CONJUGADOS

Para o preparo dos extratos foram utilizados 2 g da polpa de juá liofilizada, homogeneizados em 10 mL de metanol e submetidos a uma extração em banho de ultrassom (UNIQUE, modelo USC-1800, Brasil) a 40 KHz durante 30 min a 25°C . O extrato foi centrifugado a 6000 g por 15 min usando centrífuga modelo SL-701 (Solab, São Paulo, Brasil). O sobrenadante foi recolhido e o material decantado foi extraído com 10 mL de acetona/água

(70:30, v/v) em ultrassom. Posteriormente a polpa do juá foi centrifugada e o sobrenadante acetônico recolhido. Os extratos acetônicos e metanólicos foram combinados num balão volumétrico de 20 mL e o volume foi completado com água deionizada (Rufino et al., 2010).

A extração dos compostos fenólicos conjugados foi realizada de acordo com a metodologia de Ross et al., (2009). O resíduo remanescente foi extraído com 10 mL de metanol, utilizando-se $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ HCl para reduzir o pH para 2. As condições do processo de extração foram repetidas como descrito acima. Após centrifugação (6000g por 15 min), o sobrenadante foi recolhido, e o resíduo remanescente foi re-extraído em metanol acidificado. Ao final do processo, os extratos foram combinados num balão volumétrico de 20 mL.

Todos os extratos foram filtrados usando uma alíquota de 1 mL através de um filtro de seringa de $0,45 \mu\text{m}$ (PTFE). Posteriormente os extratos foram utilizados para determinação dos compostos fenólicos livres e conjugados por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE) e para atividade antioxidante.

3.8 DIGESTÃO GASTROINTESTINAL *IN VITRO* ACOPLADA A UMA BARREIRA INTESTINAL SIMULADA

O ensaio de digestão gastrointestinal *in vitro* seguiu metodologia de Dantas et al. (2019) com adaptações de Gullon et al. (2015). O procedimento simula as condições gastrointestinais fisiológicas incluindo três fases sequenciais (oral, gástrica, intestinal). Na fase oral empregou-se 5 mL de solução salina (2,38 g de Na_2HPO_4 , 0,19 g de KH_2PO_4 , 8 g de NaCl e 200 U/L α -amilase) misturados em 10g de polpa de juá liofilizada. A mistura foi homogeneizada a 90 RPM durante 10 min a $37 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$. Nas condições gástricas, a amostra foi ajustada a pH 2 com HCl (6M). Posteriormente foi adicionado 1 mL de pepsina dissolvido em HCl, incubando por 2 h com agitação a 90 RPM e 37°C . Em seguida, a fase gástrica foi submetida a um banho de gelo e exposta a condições simulando o trato intestinal, adicionando 2,5 mL de pancreatina dissolvidos em NaHCO_3 (0,5 M; 10 mL) e 2,5 mL de mistura de sais biliares (500 mg) dissolvida em NaHCO_3 (0,5 M; 10 mL), mais uma vez incubado permanecendo por mais 2 h em agitação por 90 RPM a $37 \text{ }^\circ\text{C}$. Uma membrana de diálise de celulose (12.000 Da) foi introduzida após a etapa intestinal, seguindo processo de diálise sob agitação (90 RPM) para se assemelhar aos movimentos peristálticos. A fração dialisada foi considerada como fração bioacessível. Os resultados foram expressos em porcentagens como segue Equação (1).

$$(1) \quad \text{Bioacessibilidade (\%)} = \frac{\text{fração dialisada}}{(\text{dialisada} + \text{não dialisada})} * 100$$

3.9 DETERMINAÇÃO DOS COMPOSTOS FENÓLICOS POR RP-CLAE/DAD

A identificação e quantificação dos compostos fenólicos nos frutos de juá, fração dialisada e não dialisada, foram realizadas segundo Dutra et al. (2018), usando um sistema de cromatografia líquida de alta eficiência Agilent 1260 Infinity LC (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, EUA) acoplado a um detector de arranjo de diodos (DAD; modelo G1315D). O extrato com 20 μL foi injetado em uma pré-coluna Zorbax C18 (12,6 x 4,6 mm, 5 μm) e na coluna Zorbax Eclipse Plus RP-C18 (100 x 4,6 mm, 3,5 μm). A temperatura da coluna foi de 35 °C. A detecção dos compostos foi nos seguintes comprimentos de onda: 220 nm, 280 nm, 320 nm, 360 nm e 520 nm.

Os compostos fenólicos foram identificados individualmente por espectroscopia de interpretação dos espectros de UV, tempo de retenção e comparação cromatográfica (co-injeção) com padrões autênticos da Sigma Aldrich. Sua quantificação foi baseada em suas áreas detectadas de pico, calculadas por meio de software de aquisição. As aquisições de dados foram realizadas usando o software OpenLAB CDS ChemStation Edition™ (Agilent Technologies).

3.10 ENSAIOS DE ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

A atividade antioxidante foi quantificada através de distintos métodos químicos na polpa de juá e nas frações dialisada e não dialisada. A capacidade antioxidante redutora de íons férricos foi determinada pelo método FRAP (ferric reducing antioxidant power), como descrito por Rufino et al. (2006) com algumas modificações. O reagente FRAP foi preparado a partir de solução tampão acetato 0,3 M (pH 3,6) em 10 mM de TPTZ diluído em HCl 40 mM e uma solução de cloreto férrico 20 mM. Em uma microplaca adicionou-se 20 μL de Trolox 78 nM diluído (padrão), 20 μL de amostra e posteriormente foram injetados 180 μL de solução FRAP em cada poço e incubado por 37°C por 30 min. A absorbância foi mensurada em 620 nm num leitor de microplacas (Fluorstar Omega, BMG LABTEC).

O ensaio antioxidante de captura do radical DPPH• foi realizado pelo método descrito por Brand Williams, Cuvelier e Berset (1995) com algumas modificações de Rufino et al. (2009). O método consiste na preparação do radical em uma solução 80 μM de DPPH•. Em uma microplaca adicionou-se 20 μL de Trolox 78 nM diluído (padrão), 20 μL de amostra, e, posteriormente foram injetados 180 μL de solução de DPPH•. A leitura foi realizada a cada 1 min por 30 min em uma absorbância de 544nm em leitor de microplacas.

O ensaio ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity) foi realizado seguindo-se o método descrito por Zulueta, Esteves e Frigola (2009). Em uma microplaca foram adicionados 20 μ L de Trolox 78 nM diluídos (padrão), 20 μ L do extrato da amostra e 120 μ L de solução de fluoresceína que foram incubados por 30 min sob 37 °C, para posteriormente adicionar-se 60 μ L de solução AAPH (178 nM), iniciando a reação. A intensidade da fluorescência foi medida de modo cinético a cada 1 min (excitação: 285 nm, emissão: 520 nm) num leitor de microplacas (Fluorstar Omega, BMG LABTEC). A atividade antioxidante foi expressa como μ mol equivalente de Trolox/100 g.

3.11 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Todos os ensaios foram realizados em triplicata, em três experimentos independentes, e os resultados obtidos foram expressos como média e desvio-padrão. Os dados foram tratados utilizando-se a análise de variância (ANOVA) e o teste de Tukey para identificar diferenças significativas entre as médias, utilizando o software *STATISTIC* versão 7.0. Diferenças entre as médias ao nível de 5% ($p \leq 0,05$) foram consideradas significativas.

REFERÊNCIAS

- ACOSTA-ESTRADA, B. A.; GUTIÉRREZ-URIBE, J. A.; SERNA-SALDÍVAR, S. O. Bound phenolics in foods, a review. **Food Chemistry**, n.152, p.46-55, 2014.
- AOAC. **Official methods of analysis of the association of official analytical chemists**. In G. W. Latimer Jr. (Ed.). 19 th ed. Gaithersburg, Maryland, 2016.
- BERGAMASCHI, K. B. **Capacidade antioxidante composição química de resíduos vegetais visando seu aproveitamento**. Dissertação de mestrado apresentado à escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo, 2010.
- BERMÚDEZ-SOTO, M. J.; TOMÁS-BARBERÁN, F. A. ; GARCÍA-CONESA, M. T. Stability of polyphenols in chokeberry (*Aronia melanocarpa*) subjected to in vitro gastric and pancreatic digestion. **Food Chemistry**, v. 102, p.865–874, 2007.
- BIEHLER, E.; BOHN, T. Methods for assessing aspects of carotenoid bioavailability. **Current Nutrition & Food Science**, v. 6, p. 44–69, 2010.
- BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT – Food Science and Technology**. v. 281, n. 1, p. 25–30, 1995.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Conheça os biomas brasileiros**. Disponível em <<http://www.brasil.gov.br/noticias/meio-ambiente/2009/10/biomas-brasileiros>>. Acesso em: 20 mar 2019.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: região Nordeste**. Secretaria de Biodiversidade. – Brasília, DF, 2018.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga**. Brasília, DF, p. 368, 2010.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Guia alimentar para a população brasileira: promovendo a alimentação saudável**. Edição especial. Brasília: Ministério da Saúde, 2015.
- BRITO, S. M. O.; COUTINHO, H. D. M.; TALVANI, A.; CORONEL, C.; BARBOSA, A. G. R.; VEJA, C.; FIGUEREDO, F. G.; TINTINO, S. R.; LIMA, F.R.; BOLIGON, A. A.; ATHAYDE, M. L.; MENEZES, I. R. A. Analysis of bioactivities and chemical composition of *Ziziphus joazeiro Mart.* using HPLC–DAD. **Food Chemistry**. n. 186, p. 185–191, 2015.
- CAVALCANTI, M. T.; SILVEIRA, D. C. ; FLORÊNCIO, I. M. ; FEITOSA, V.A.; ELLER, S.C.W.S. Obtenção da farinha do fruto do juazeiro (*ziziphus joazeiro mart.*) e caracterização físico-química. **Verde Mossoró**, v. 6, n. 1, p. 220 – 224, 2011.
- CHANDRASEKARA, A.; SHAHIDI, F. Bioaccessibility and antioxidant potential of millet grain phenolics as affected by simulated in vitro digestion and microbial fermentation. **Journal of Functional Foods**, v. 4, p. 226–237, 2012.

- CHANDRASEKARA, A.; SHAHIDI, F. Content of insoluble bound phenolics in millets and their contribution to antioxidant capacity. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, n. 58, p. 6706–6714, 2010.
- CHEN, J. P.; LI, Z. G.; MAIWULANJIANG, M.; ZHANG, W. L.; ZHAN, J. Y. X.; LAM, C. T. W.; TSIM, K. W. K. Chemical and biological assessment of *Ziziphus jujube* fruits from China: Different geographical sources and developmental stages. **Journal Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, p. 7315–7324, 2013.
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: Fisiologia e manuseio**. 2 ed, Lavras: UFLA, 2005.
- CHOI, S. H.; AHN, J. B.; KIM, J. J.; IM, N. K.; KOZUKUE, N.; LEVIN, C. E. Changes in free amino acids, protein, and flavonoid content in jujube (*Ziziphus jujuba*) fruit during eight stages of growth and antioxidative and cancer cell inhibitory effects by extracts. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.60, p. 10245–10255, 2012.
- COELHO, E. M.; PADILHA, C. V. S.; MISKINIS, G. A.; SÁ, A. G. B.; PEREIRA, G. E.; AZEVÊDO, L. C.; LIMA, M. S. Simultaneous analysis of sugars and organic acids in wine and grape juices by HPLC: Method validation and characterization of products from northeast Brazil. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 66. p. 160–167, 2018.
- DANTAS, A. M.; MAFALDO, I. M.; OLIVEIRA, P. M. L.; LIMA, M. S.; MAGNANI, M.; BORGES, G. S. C. Bioaccessibility of phenolic compounds in native and exotic frozen pulps explored in Brazil using a digestion model coupled with a simulated intestinal barrier. **Food Chemistry**, n. 274, p.202-214, 2019
- DINIZ, V. M. **Processamento do fruto do juazeiro para obtenção da farinha e do óleo**. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) - Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2016.
- DUTRA, M. C. P.; RODRIGUES, L. L.; OLIVEIRA, D.; PEREIRA, G. E.; LIMA, M. S. Integrated analyses of phenolic compounds and minerals of Brazilian organic and conventional grape juices and wines: Validation of a method for determination of Cu, Fe and Mn. **Food Chemistry**, n. 269, p.157–165, 2018.
- DUTRA, R. L.; DANTAS, A. M.; MARQUES, D. A.; BATISTA, J. D. F.; MEIRELES, R. L. A.; CORDEIRO, A. M. T. M.; MAGNANI, M.; BORGES, G. S. C. Bioaccessibility and antioxidant activity of phenolic compounds in frozen pulps of Brazilian exotic fruits exposed to simulated gastrointestinal conditions. **Food Research International**, v. 100, p. 650-657, 2017.
- EMBRAPA. Empresa brasileira de pesquisa agropecuária. **Juazeiro (*Ziziphus joazeiro*)**. Colombo/PR: Embrapa (Circular técnica), 2007.
- FEITOZA, J. V. F.; ARAÚJO, J. S. F.; QUEIROGA, I. M. B. N.; SANTANA NETO, D. C. O juá e seu potencial diversificativo através da tecnologia de conservação dos alimentos. In: I congresso internacional da diversidade do semiárido. Campina Grande- PB. **Anais I CONIDIS**. ISSN 2526-186X, v. 1, 2016.

- FERNÁNDEZ-GARCÍA, E.; CARVAJAL-LÉRIDA, I.; PÉREZ-GÁLVEZ, A. *In vitro* bioaccessibility assessment as a prediction tool of nutritional efficiency. **Nutrition Research**, v. 29, p. 751–760, 2009.
- FONSECA, F. C. S.; BRANCO, A. Obtenção de triterpenos pentacíclicos a partir do extrato aquoso de *Zizyphus joazeiro* Mart (Rhamnaceae). 2014 Disponível em: <<http://www2.uefs.br/semic/upload/2011/2011XV-031FER918-220.pdf>>. Acesso em: 29 de jul. 2017.
- GAO, Q. H.; WU, P. T.; LIU, J. R.; WU, C. S.; PARY, J. W.; WANG, M. Physicochemical properties and antioxidant capacity of different jujube (*Zizyphus jujuba* Mill.) cultivars grown in loess plateau of China. **Scientia Horticulturae**, v.130, p. 67–72, 2011.
- GAO, Q. H.; WU, C. S.; WANG, M.; BIAN-NA XU, B. N.; DU, L. J. Effect of Drying of Jujubes (*Zizyphus jujuba* Mill.) on the Contents of Sugars, Organic Acids, α -Tocopherol, β -Carotene, and Phenolic Compounds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 60, p. 9642–9648, 2012.
- GAO, Q. H.; WU, C. S.; WANG, M. The jujube (*Zizyphus jujuba* Mill.) fruit: A review of current knowledge of fruit composition and health benefits. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, p. 3351–3363, 2013.
- GHASEMZADEH, A., GHASEMZADEH, N. Flavonoids and phenolic acids: role and biochemical activity in plants and human. **Journal of Medicinal Plants Research**, v, 5, pág. 6697-6703, 2011.
- GOBBO-NETO, L.; LOPES, N. P. Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. **Química Nova**, v. 30, n. 2, p. 374-381, 2007.
- GULLON, B.; PINTADO, M. E.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J.; PÉREZ-ÁLVAREZ, J. A.; VIUDA-MARTOS, M. *In vitro* gastrointestinal digestion of pomegranate peel (*Punica granatum*) flour obtained from co-products: Changes in the antioxidant potential and bioactive compounds stability. **Journal of Functional Foods**, v.19, p. 617–628, 2015.
- HASSAN, A. M. A.; GIOVANETTI, M.; RAWEH, H. S. A.; OWAYSS, A. A.; ANSARI, M. J.; NURU, A.; RADLOFF, S. E.; ALQARNI, A. S. Nectar secretion dynamics of *Zizyphus nummularia*: A melliferous species of dry land ecosystems. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v.24, p.1470-1474, 2017.
- HUR, S. J.; LIM, B. O.; DECKER, E. A.; MCCLEMENTS, D. J. *In vitro* human digestion models for food applications. **Food Chemistry**, v. 125, p. 1–12, 2011.
- Jl, X.; PENG, Q.; YUAN, Y.; SHEN, J.; XIE, X.; WANG, M. Isolation, structures and bioactivities of the polysaccharides from jujube fruit (*Zizyphus jujuba* Mill.): a review - **Food Chemistry**, v. 227, p. 349-357, 2017.
- LI, J.W.; FAN, L. P.; DING, S. D.; DING, X. L. Nutritional composition of five cultivars of Chinese jujube. **Food Chemistry**, v.103, p. 454–460, 2017.

- LIMA, R.B. *Rhamnaceae* in **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2015. Disponível em:<<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB20671>>. Acesso em: 31 de agosto de 2018.
- LITARDO, G. A. A.; QUIRUMBAY, S. G. S. **Efectos del procesamiento sobre el contenido de antioxidantes del *Ziziphus jujube***. Monografía (Graduação em engenharia química). Facultad de ingeniería química. Guayaquil, Ecuador, 2015.
- LORENZI, H. E. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Instituto Plantarum 5. ed., v. 1, 2009.
- LUCAS-GONZÁLEZ, R.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J.; PÉREZ-ÁLVAREZ, J. A.; VIUDA-MARTOS, M. Changes in bioaccessibility, polyphenol profile and antioxidant potential of flours obtained from persimmon fruit (*Diospyros kaki*) co-products during *in vitro* gastrointestinal digestion. **Journal of the Science of Food & Agriculture**, v. 98, p. 504–510, 2018.
- LU, H.; LOU, H.; ZHENG, H.; HU, Y.; LI, Y. Nondestructive evaluation of quality changes and the optimum time for harvesting during jujube (*Zizyphus jujube* Mill. cv. Changhong) fruits development. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, p.2586- 2595, 2012.
- MARUZA, I. M.; MUSEMWA, L.; MAPURAZI, S.; MATSIKA, P.; MUNYATI, V. T.; NDHLEVE, S. Future prospects of *Ziziphus mauritiana* in alleviating household food insecurity and illnesses in arid and semi-arid areas: A review. **World Development Perspectives**, v. 5, p.1–6, 2017.
- MINEKUS, M.; ALMINGER, M.; ALVITO, P.; BALANCE, S.; BOHN, T.; BOURLIEU, C.; CARRIÈRE, F.A. Standardised static *in vitro* digestion method suitable for food An international consensus. **Food & Function**, v. 5, p.1113–1124, 2014.
- MONIZ, K. L. A. **Caracterização morfológica de sementes efrutos e estudos da germinação da espécie *Ziziphus joazeiro* Mart (Rhamnaceae)**. Dissertação (Mestrado em botânica) - Universidade estadual de feira de santana – Bahia, 2002.
- MOSELE, J. I.; MACIÀ, A.; ROMERO, M.; MOTILVA, M.; RUBIÓ, L. Application of *in vitro* gastrointestinal digestion and colonic fermentation models to pomegranate products (juice, pulp and peel extract) to study the stability and catabolism of phenolic compounds. **Journal of Functional Foods**, v.14, p. 529–540, 2015.
- MOSELE, J. I.; MACIÀ, A.; ROMERO, M. P.; MOTILVA, M. J. Stability and metabolism of *Arbutus unedo* bioactive compounds (phenolics and antioxidants) under *in vitro* digestion and colonic fermentation. **Food Chemistry**, v. 201, p. 120–130, 2016.
- NADIA, T. L.; MACHADO, I. C.; LOPES, A. V. Fenologia reprodutiva e sistema de polinização de *Ziziphus joazeiro* Mart. (Rhamnaceae): atuação de *Apis mellifera* e de visitantes florais autóctones como polinizadores. **Acta Botanica Brasilica**, v. 21, n. 4, p. 835-845, 2007.
- ORWA, C.; MUTUA, A.; JAMNADASS, R.; ANTHONY, S. (2009). Agro Forest Tree Database, Disponível em<<http://www.worldagroforestry.org/sites/treedbs/Treedatabases.asp>> Acesso em 21 abril 2018.

PADILHA, C.V.S.; MISKINIS, G.A.; SOUZA, M. E. A. O.; PEREIRA, G. E.; OLIVEIRA, D.; BORDIGNON-LUIZ, M.T.; LIMA, M. D. S. Rapid determination of flavonoids and phenolic acids in grape juices and wines by RP-HPLC/DAD: Method validation and characterization of commercial products of the new Brazilian varieties of grape. **Food Chemistry**, v. 228, p. 106-115, 2017

PEIXOTO, F. M.; FERNANDES, I.; GOUVÊA, A. C. M. S.; SANTIAGO, M. C. P. A.; BORGUINI, R. G., MATEUS, N. Simulation of in vitro digestion coupled to gastric and intestinal transport models to estimate absorption of anthocyanins from peel powder of jaboticaba, jamelão and jambo fruits. **Journal of Functional Foods**, n. 24, p. 373–381, 2016.

PESSOA, A. M. S.; MANN, R. S.; SANTOS, A. G.; RIBEIRO, M. L. F. Influência da maturação de frutos na germinação, vigor e teor de óleo de sementes de pinhão-mansô (*Jatropha curcas L.*). **Scientia Plena**, v.8, p. 7, 2012.

RECHE, J.; HERNÁNDEZ, F.; ALMANSA, M. S.; CARBONELL-BARRACHINA, Á. A.; LEGUA, P.; AMORÓSA, A. Physicochemical and nutritional composition, volatile profile and antioxidant activity differences in Spanish jujube fruits. **LWT - Food Science and Technology**, v. 98, p.1–8, 2018.

REIS GIADA, M. Food phenolic compounds: Main classes, sources and their antioxidant power, oxidative stress and chronic degenerative diseases e A role for antioxidants. In J. A. Morales-Gonzalez (Ed.), 2013. Disponível em <http://dx.doi.org/10.5772/51687>

RIBEIRO, B. D.; ALVIANO, D. S.; BARRETO, D.W.; COELHO, M. A. Z. Functional properties of saponins from sisal (*Agave sisalana*) and juá (*Ziziphus joazeiro*): Critical micellar concentration, antioxidant and antimicrobial activities. **Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects**, v. 436, p. 736-743, 2013.

ROSS, K. A.; BETA, T.; ARNTFIELD, S. D. A comparative study on the phenolic acids identified and quantified in dry beans using HPLC as affected by different extraction and hydrolysis methods. **Food Chemistry**, n. 113, p.336–344, 2009

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.;MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pelo Método de Redução do Ferro (FRAP). **Comunicado técnico on-line** ISSN 1679-6535, 2006.

RUFINO, M. S. M.; FERNANDES, F. A. N.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S. Free radical-scavenging behaviour of some north-east Brazilian fruits in a DPPH_ system. **Food Chemistry**, v. 114, n. 2, p. 693-695, 2009.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; PÉREZ-JIMÉNES, J.; SAURA-CALIXTO, F.; MANCINI-FILHO, J. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, v. 121, p. 996-1002, 2010.

SAN, B.; YILDIRIM, A. N. Phenolic, alpha-tocopherol, beta-carotene and fatty acid composition of four promising jujube (*Ziziphus jujuba* Mill) selections. **Journal Food Composition. Analysis**, v. 23, p. 706–710, 2010.

SANTOS, G. C. S.; FREIRE, A. S. M.; SANTOS, J. R. M.; VIEIRA, F. A. Padrão de distribuição espacial em uma população natural de juazeiro. In: I congresso internacional da diversidade do semiárido. Campina Grande- PB **Anais I CONIDIS**. ISSN 2526-186X, v. 1, 2016.

SCHULZ, M.; BORGES, G. S. C.; GONZAGA, L.V.; SERAGLIO, S. K.T.; OLIVO, I. S.; AZEVEDO, M. S.; FETT, R. Chemical composition, bioactive compounds and antioxidant capacity of juçara fruit (*Euterpe edulis Martius*) during ripening. **Food Research International**, v. 77, p. 125–131, 2015.

SCHULZ, M.; BILUCA, F. C.; GONZAGA, L. V.; BORGES, G. S. C.; VITALI, L.; MICKE, A.; GOIS, J. S.; ALMEIDA, T. S.; BORGES, D. L. G.; MILLER, P. R. M.; COSTA, A.C. O.; FETT, R. Bioaccessibility of bioactive compounds and antioxidant potential of juçara fruits (*Euterpe edulis Martius*) subjected to in vitro gastrointestinal digestion. **Food Chemistry**, v. 228, p. 447–454, 2017.

SILVA, I. C.; QUEIROZ, M. H. R.T.; LUCIA, V. **Guia de plantas: visitadas por abelhas na Caatinga**. 1. ed.. Editora Fundação Brasil Cidadão. Fortaleza, 2012.

SILVA, L. R.; BARRETO, N. D. S.; BATISTA, P. F.; ARAUJO, F. A. R.; MORAIS, P. L. D.; Caracterização de frutos de cinco acessos de juazeiro (*Zizyphus joazeiro* mart.). **Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.13, n. 1, p. 15-20, 2011.

SILVA, J. B. **Caracterização físico-química e química do fruto do juazeiro (*Zizyphus joazeiro* Mart) e avaliação da sua conservação por fermentação láctica**. Tese de Doutorado, 95 p. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2014.

SILVA, J. L.; COSTA, J.B.; NASCIMENTO, A. M.; COSTA, R.T.R.V.; SOUZA, F.F.; SANTOS, K.P. Atributos físicos do fruto de juazeiro (*zizyphus joazeiro* mart.) Armazenado à temperatura ambiente. **Arquivo Brasileiro Alimentos**, v. 2. p. 197-209, 2017.

SILVA, T. C. L. **Avaliação comparativa de cascas e folhas de *Zizyphus joazeiro* Mart (Rhamnaceae) em relação aos perfis bioativo e toxicológico e as atividades antioxidante e antimicrobiana**. Dissertação Recife: Faculdade de Ciências Farmacêuticas, UFPE, 2009.

SOUSA, I. **Estudo Fitoquímico e Biológico *in vitro* da espécie *Zizyphus guaranitica* Malme (Rhamnaceae)**. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais do Semiárido) - Universidade Federal do Vale do São Francisco. Petrolina-PE, 2016.

SOUSA, F. C.; SILVA, L. M. M.; CASTRO, D. S.; NUNES, J. S.; SOUSA, E. P. Propriedades Físicas e Físico-Químicas da Polpa de Juazeiro. **Verde Mossoró**, v. 8, n. 2, p. 68 - 71, 2013.

SOUSA, J. M.; SOUZA, E. L.; MARQUES, G.; MEIRELES, B.; CORDEIRO, A.T. M.; GULLÓN, B.; PINTADO, M. M.; MAGNANI, M. Polyphenolic profile and antioxidant and antibacterial activities of monofloral honeys produced by *Meliponini* in the Brazilian semiarid region. **Food Research International**, v. 84, p. 61–68, 2016.

TAGLIAZUCCHI, D.; VERZELLONI, E.; BERTOLINI, D.; CONTE, A. *In vitro* bio-accessibility and antioxidant activity of grape polyphenols. **Food Chemistry**, v. 120, p. 599-606, 2010.

TIVERON, A. P. **Atividade antioxidante e composição fenólica de legumes e verduras consumidos no Brasil**. Dissertação de mestrado apresentada à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo, 2010.

WANG, B. N.; LIU, H. F.; ZHENG, J. B.; FAN, M. T.; CAO, W. Distribution of phenolic acids in different tissues of jujube and their antioxidant activity. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.59, p. 1288-92, 2011.

WANG, B. N.; HUANG, Q.Y.; VENKITASAMY, C.; CHAI, H. K.; GAO, H.; CHENG, N.; PAN, Z. L. Changes in phenolic compounds and their antioxidant capacities in jujube (*Ziziphus jujuba* Mill) during three edible maturity stages. **LWT – Food Science and Technology**, v. 66, p. 56–62, 2016.

WOJDYŁO, A.; CARBONELL-BARRACHINA, A. A.; LEGUA, P.; HERNÁNDEZ, F. PHENOLIC. Composition, ascorbic acid content, and antioxidant capacity of Spanish jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) fruits. **Food Chemistry**, v. 201, p. 307–314, 2016.

WU, C. S.; GAO, Q. H.; GUO, X. D.; YU, J. G.; WANG, M. Effect of ripening stage on physicochemical properties and antioxidant profiles of a promising table fruit ‘pearjujube’ (*Ziziphus jujuba* Mill.). **Scientia Horticulturae**, v.148, p. 177–184, 2012.

XIAOLONG, J.; PENG, Q.; YUAN, Y.; SHEN, J.; XUEYING, X.; WANG, M. Isolation, structures and bioactivities of the polysaccharides from jujube fruit (*Ziziphus jujuba* Mill.): A review. **Food Chemistry**, v. 227, p. 349–357, 2017.

XIAO, P.; HUANG, H.; CHEN, J.; LI, X. *In vitro* antioxidant and anti-inflammatory activities of Radix Isatidis extract and bioaccessibility of six bioactive compounds after simulated gastro-intestinal digestion. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 157, p.55–61, 2014.

XUE, Z.; FENG, W.; CAO, J.; CAO, D.; JIANG, W. Antioxidant activity and total phenolic contents in peel and pulp of Chinese jujube (*Ziziphus jujuba* mill) fruits. **Journal of Food Biochemistry**, v. 33, p. 613-629, 2009.

YAN, J. K.; WANG, W. Q.; WU, J. Y. Recent advances in Cordyceps sinensis polysaccharides: Mycelial fermentation, isolation, structure, and bioactivities: A review. **Journal of Functional Foods**, v.6, p. 33–47, 2014.

ZHANG, H.; JIANG, L.; YE, S.; YE, Y.; REN, F. Systematic evaluation of antioxidant capacities of the ethanolic extract of different tissues of jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) from China. **Food and Chemical Toxicology**, v. 48, p.1461–1465, 2010.

ZULUETA, A.; ESTEVE, M. J.; FRÍGOLA, A. ORAC and TEAC assays comparison to measure the antioxidant capacity of food products. **Food Chemistry**, v.114, n. 1, p. 310–316 2009.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ARTIGO

Juá fruit (*Ziziphus joazeiro*) from Caatinga: a source of dietary fibers and bioaccessible flavanols

Abstract

Fruits from *Ziziphus joazeiro* from Mata Paraibana (MP), Borborema (BB), Agreste (AG) and Sertão Paraibano (SP) were assessed to determine their morphological characteristics, nutritional composition, content and bioaccessibility of phenolic compounds and antioxidant activity. In general, juá fruits presented ovoid shape, high moisture (65.33- 72.53%), low acidity, with succinic acid being the predominant organic acid, and high dietary fiber content (8.98 - 10.81%), mostly consisting of insoluble fibers (5.72- 8.02%). Fruits from MP presented the highest amounts of free phenolic compounds (24.27 mg/100 g) and the highest antioxidant activity in the DPPH, FRAP and ORAC assays. In MP fruits, epigallocatechin gallate (12.04 mg/100 g) was the major compound, while in fruits from other states, phenolic compounds were the major compounds. The bioaccessibility of catechin, epicatechin, epicatechin gallate, epigallocatechin gallate, procyanidin and syringic acid varied among fruits from different regions. Fruits from SP presented the highest phenolic content in the bioaccessible fraction and highest antioxidant activity in all assays. The findings of this study indicate that juá is a source of fiber and bioaccessible flavanols.

Keywords: antioxidant, bioaccessibility, exotic fruit, dietary fibers, gastrointestinal digestion

1. Introduction

Caatinga is an exclusive Brazilian biome that corresponds to 9.92% of the country's territory (IBGE, 2016). In Northeast Brazil, Caatinga is prevalent in the states of Paraíba, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Maranhão, Pernambuco, Alagoas Sergipe and Bahia (Santos, Freire, Santos, & Vieira, 2016; Silva, 2014). In Paraíba state, Caatinga is the largest biome and covers approximately 92% of the state (Brasil, 2017). The vegetation of Caatinga can be divided into two groups: the hyperxerophytic, represented by Cactaceae and Bromeliaceae, and the hypoxerophytic, formed by arboreal vegetation, including the species *Ziziphus joazeiro* Mart., popularly known as “juazeiro” (Fernandes & Queiroz., 2018).

Juazeiro is endemic from Caatinga, but it is widely distributed in four distinct mesoregions of Paraíba state as follows: Mata Paraibana, characterized by the humid tropical climate in the littoral area with rainfall index > 1800 mm; Borborema has similar climatic conditions to Mata Paraibana but has a rainfall index of 800-1000 mm; Agreste Paraibano, represented by the transition region between Sertão (semiarid climate) and Zona da Mata Paraibana (humid tropical climate); and Sertão, which has a semiarid climate with rainfall index < 500 mm (Atlas, 2011; Santos et al., 2016).

Juazeiro, which is used in folk medicine as a bactericide, pain reliever and healing (Cavalcanti, Silveira, Florêncio, Feitosa, & Eller, 2011; Silva, Barreto, Batista, Araujo, & Morais, 2011), has received attention from the academic community because of the presence of phytochemicals (e.g., saponins) with pharmacological properties distributed in its stalk and leaves (Santos et al., 2016; Sousa, Silva, Castro, Nunes, & Sousa, 2013). The fruit of juazeiro is an edible yellow fruit with one seed surrounded by a mucilaginous and sweet white pulp (Cavalcanti et al., 2011). In the Brazilian semiarid region, these fruits are known as juá and primarily consumed fresh by the local population, although juá jam, candies and jellies are also commonly eaten (Sousa et al., 2013). Juá fruits possess high contents of water (70-80%), carbohydrates ($> 20\%$), and minerals, such as potassium (165.29 mg/100 g), calcium (18.92 mg/100 g) and magnesium (16.91 mg/100 g), and vitamin C (102.58 mg/100 g) (Diniz, 2016; Silva, 2014; Silva, Moura, Costa, Araújo, & Barbosa, 2017a). An earlier study reported that fruits from *Z. jujuba* Mill., belonging to *Ziziphus* species cultivated in European and Asian countries, presented expressive nutritional composition, different types of flavanol, flavonol, procyanidin and phenolic acids (Gao, Wu, Liu, Wu, Pary, & Wang, 2011; Wojdyło, Carbonell-Barrachina, Legua, & Hernández, 2016) and are highly recommended for consumption due biological properties (Gao et al., 2011).

However, the phenolics and antioxidant potential of juá fruits or the differences in their composition related to the mesoregions of origin have not been determined to date.

In our previous studies, we focused on the antioxidant activity, stability and bioaccessibility of bioactive compounds of native fruits of Caatinga, such as mangaba, cajá, seriguela and umbu-cajá, or on their derived frozen pulps (Dantas, Mafaldo, Oliveira, Lima, Magnani, & Borges, 2019; Dutra et al., 2017). We have observed large amounts of flavonols, flavanols and phenolic acids with strong antioxidant activity but varied bioaccessibility in these fruits and their pulps (Dantas et al., 2019; Dutra et al., 2017). Therefore, the present study was conducted to characterize juá fruits from four different Caatinga mesoregions according to a) the morphological, physicochemical and nutritional aspects, b) the profile of phenolic compounds and antioxidant activity, and c) the bioaccessibility of phenolic compounds and the antioxidant activity of the bioaccessible fractions.

2. Materials and Methods

2.1 Chemicals and reagents

Pepsin, α -amylase, pancreatin, and bile salts were obtained from Sigma-Aldrich (St. Louis, MO). Hydrochloric acid (HCl) (37% m / m), sulfuric acid (H₂SO₄) ethanol, methanol and hexane were purchased from Neon (São Paulo, Brazil). The 2,2'-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH), 2,6-dichlorophenol-indophenol (DCFI), hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid (Trolox) reagents were obtained from Sigma-Aldrich Chemical, SA (Hamburg, Germany), and 2,4,6-tris (2-pyridyl)-s-triazine (TPTZ) was obtained from Sigma-Aldrich Chemical, SA (Milan, Italy).

The standards of phenolic compounds, sugars and organic acids to be cited were the following: benzoic acid, caffeic acid, chlorogenic acid, ellagic acid, ferulic acid, gallic acid, gentisic acid, salicylic acid, sinapic acid, syringic acid, trans-cinnamic acid, coumaric acid, protocatechuic acid, vanillic acid, myricetin, quercetin, naringenin, catechin, kaempferol, hesperetin, rutin, glucose, fructose, maltose, rhamnose, citric acid, malic acid, tartaric acid, succinic acid, lactic acid, formic acid, acetic acid and butyl acid were purchased from Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA). All chemical reagents used in the experiments were of analytical grade.

2. *Juá sampling*

The fruits of juá (*Ziziphus joazeiro* Mart) were collected in four distinct regions of Paraíba-Brazil as follows: Mata Paraibana (latitude 07° 08'10" x longitude 34° 52'24" L) collected in the month of March, Agreste Paraibano (latitude 07° 21'26" S x longitude 35° 26'26" W) and Borborema (latitude 7° 28'45" S x longitude 36° 54'18" W) collected in the month of June and Sertão Paraibano (latitude 06° 77'02" S x longitude 36° 80'16" W) collected in the month of April. The juazeiro trees selected for fruit collection were botanically identified and documented in the Lauro Pires Xavier Herbarium at the Federal University of Paraíba. Fruits at the commercial ripeness stage were harvested from February to June 2018 in the morning and were randomly removed from the trees by hand. The fruits were divided into 3 distinct lots of 400 g for each selected tree and transported to the laboratory under refrigerated conditions in (\pm - 4 °C) thermal boxes.

2.3 *Preparation of samples*

The fruits were selected for injuries and rot to obtain a uniform sampling, washed in distilled water and sanitized with chlorinated water solution at 100 ppm for 15 min. Finally, the fruits were subjected to mechanical pulp removal in a horizontal machine (Des -60, Braesi) and homogenized pulp in an industrial blender (model 800w, Fak, São Paulo, Brazil). The juá pulps were stored in airtight polyethylene bags, frozen and lyophilized at $-45 \pm 2^\circ\text{C}$ (model LS 3000, Terroni Equipamentos, Brazil).

2.4 *Morphological characteristics*

The morphological characteristics of the fruits were defined following a sampling of 100 grams of fruits per lot. The weight (g) of each fruit was determined using analytical balance (model AY220, Shimadzu, Kyoto, Japan). The measurements of the longitudinal diameter (LD) (mm) and transverse diameter (TD) (mm) were determined using a pachymeter (model 536, Mitutoyo UK, São Paulo, Brazil) according to the methodology described by Silva et al.(2017a) and Reche et al. (2018).

2.5 *Physicochemical and nutritional characterization*

The recommended methods of the Association of Official Analytical Chemicals (AOAC, 2016) were used to determine the physicochemical and nutritional composition.

The total soluble solids were determined in the homogenized pulp at 20 °C using a refractometer (model RT-90 ATC, Instrutherm, São Paulo, Brazil), and the results were expressed as ° Brix (method 932.14).

The hydrogen potential (pH) was determined using a digital pH meter (model PHS3BW, Bel Engineering, São Paulo, Brazil) after dilution of 10 g of homogenized pulp with 100 mL of deionized water. Moisture was determined using pulp dried in an oven at 70 ± 2 °C (model TE-393, Tecnal, São Paulo, Brazil) until constant weight (method 925.09). Crude protein (method 920.87) content was calculated from the total nitrogen content determined by the Kjeldahl method using a 5.75 conversion factor. Total lipids (method 920.85) were determined by Soxhlet extraction. The ash content was determined by the gravimetric method (method 940.26).

The total fibers were quantified by the enzymatic-gravimetric method (method 985.29) using the total dietary fiber assay kit (Sigma TDF-100 A). All analyses were performed in triplicate.

2.6 Profile of sugars and organic acids by high performance chromatography (HPLC)

Juá samples were analyzed for sugar content (glucose, fructose, maltose and rhamnose) and organic acids (citric, malic, tartaric, succinic, lactic, formic, acetic and butyl) after preparation of extracts as described by Gao Wu, Wang, Xu, & Du. (2012). Briefly, lyophilized pulp (2 g) was mixed with 20 mL of deionized water and extracted using an ultrasonic bath (model USC-1800, UNIQUE, Brazil) at 40 kHz for 60 min at 25 ± 2 °C. The supernatant was separated using a model SL-701 centrifuge (Solab, São Paulo, Brazil) at 6000 g, for 15 min. The residue was re-extracted by repeating the above steps under the same conditions, and the supernatants were mixed and filtered through a 0.45- μ m (PTFE) membrane and analyzed in HPLC. The two replicates of the extracts were analyzed.

The separation, identification and quantification of organic acids and sugars, the extracts, were performed in an HPLC system following the methodology described by Coelho et al., 2018. For each analysis, three independent extract were analyzed, 10 μ L of extract was injected in an Agilent Hi-Plex H (300 \times 7.7 mm) ion exchange column with 8.0- μ m internal particles protected by a PL Hi-Plex H (5 \times 3 mm) protection column (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA). The column compartment temperature was maintained at 70 ± 2 °C and the

refractive index detector (RID) flow cell was maintained at 50 ± 2 °C. The mobile phase was 4.0 mM H₂SO₄ in ultrapure water with a flow rate of 0.5 mL min⁻¹ with a run time of 20 min. For the determination of the organic acids, a detector was used in the DAD at 210 nm, and sugars were detected by the RID. The tree independent extracts were analyzed.

2.7 Extraction of free and conjugated phenolic compounds

For extraction of free phenolic compounds, 2 g of the lyophilized pulp was mixed with 10 mL of methanol and subjected to extraction in an ultrasound bath (model USC-1800, UNIQUE, Brazil) at 40 kHz for 30 min at 25 ± 2 °C. The extract was centrifuged at 6000 g for 15 min using a model SL-701 centrifuge (Solab, São Paulo, Brazil). The collected supernatant and decanted material were extracted with 10 mL of acetone/water (70:30, v / v) on ultrasound, the system was centrifuged, and supernatant was collected. The acetone and methanol extracts were combined in a 20 mL volumetric flask, and the final volume was reached using deionized water (Rufino et al.,2010).

The extraction of conjugated phenolic compounds was performed in accordance with the methodology of Ross, Beta and Arntfield. (2009). The remaining residue was extracted with 10 mL of methanol, and 0.1 mol L⁻¹ HCl was used to reduce the pH to 2. The extraction conditions were repeated as described above. After centrifugation (6000 g for 15 min), the supernatant was collected, and the remaining residue was re-extracted into acidified methanol. At the end of the procedure, the extracts were combined in a 20mL volumetric flask.

All extracts were filtered using a 1 mL aliquot through a 0.45-µm (PTFE) membrane. Subsequently, the extracts were used to determine free and conjugated phenolic compounds by HPLC and to measure antioxidant activity.

2.8 Determination of phenolic compounds by HPLC-DAD

The identification and quantification of phenolic compounds in the fruits, dialyzed fractions and non dialyzed fractions of the juá fruits were performed according to Dutra, Rodrigues, Oliveira, Pereira, and Lima (2018) and Padilha et al. (2017) using the Agilent 1260 Infinity LC high-performance liquid chromatography system (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA) coupled diode array detector (DAD; model G1315D). The 20 µL extract was injected on a Zorbax C18 precolumn (12.6 x 4.6 mm, 5 µm) and the Zorbax Eclipse Plus RP-C18 (100 × 4.6 mm, 3.5 µm) column. The column temperature was 35 °C, and the detection of

the compounds was performed at wavelengths of 220 nm, 280 nm, 320 nm, 360 nm and 520 nm. The individual phenolic compounds were identified by spectroscopic interpretation of the UV spectra, retention time and chromatographic comparison (coinjection) with authentic standards from Sigma Aldrich. The quantification of these compounds was based on their peak detected areas calculated by means of software acquisition. Data acquisition was performed using the OpenLAB CDS ChemStation Edition™ software (Agilent Technologies).

2.9 *In vitro* gastrointestinal digestion model coupled with a simulated intestinal barrier

The *in vitro* gastrointestinal digestion assay following adapted methodology by Dantas et al. (2019) with adaptations. The procedure mimics the physiological gastrointestinal conditions, including three sequential phases (oral, gastric, intestinal, which included dialysis). In the oral phase, 5 ml of saline (2.38 g Na₂ HPO₄, 0.19 g KH₂ PO₄, 8 g NaCl and 200 U/L α -amylase) was mixed with 10 g pulp. The mixture was homogenized at 90 turns for 2 min at 37 ± 2 °C. Under gastric conditions, the sample was adjusted to pH 2 with 0.1 M HCl, then added to 1 mL pepsin U/ml (0.108 g) dissolved in HCl (0.1 M, 10 mL), and incubated for 2 hours with 90 turns shaking at 37 ± 2 °C. After the mixture was subjected to simulated intestinal digestion, the gastric-digested samples were mixed with 2.5 mL of pancreatin (80 mg) dissolved in NaHCO₃ (0.5 M, 10 mL) and 2.5 ml of bile salt mixture (500 mg) dissolved in NaHCO₃ (0.5 M, 10 mL), incubated for 2 hours under stirring at 90 turns at 37 ± 2 °C. A cellulose dialysis membrane (12.000 Da) (simulated intestinal barrier) was introduced after the intestinal stage following dialysis for 8 hours under 90 turns shaking to simulate peristaltic movements. The dialyzed fraction was considered to be a bioaccessible fraction. The results were expressed as percentages as follows (Eq⁽¹⁾).

$$\text{Bioaccessibility (\%)} = \text{dialyzed fraction} / (\text{dialyzed} + \text{nondialyzed}) * 100 \quad (1)$$

2.10 *Antioxidant activity assay*

The antioxidant capacity of ferric ions was determined by the FRAP (ferric reducing antioxidant power) method, as described by Rufino et al. (2006), with some modifications. The FRAP reagent was prepared from 0.3 M acetate buffer (pH 3.6) in 10 mM TPTZ diluted in 40 mM HCl and a 20 mM ferric chloride solution. An aliquot of 20 μ L of sample was added, and 180 μ L of the FRAP reagent was added. The mixture was stirred and incubated at 37 °C for 30

min. The absorbance was measured at 620 nm in a microplate reader (Model Fluorstar Omega, BMG LABTEC). The antioxidant activity was expressed as μmol equivalents of Trolox 100/g.

The antioxidant DPPH radical capture assay was performed by the method described by Brand Williams, Cuvelier and Berset (1995) with some modifications, as described by Rufino, Fernandes, Alves & Brito (2009). The method consists of the preparation of the radical in an 80 μM solution of DPPH. A 180 μL aliquot of DPPH solution was added to 20 μL of sample, and after 30 min, the absorption was measured at 515 nm using a microplate reader (Model Fluorstar Omega, BMG LABTEC, Germany). The antioxidant activity was expressed as μmol equivalents of Trolox 100/g.

The antioxidant ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity) assay followed the method described by Zulueta, Esteves and Frígola (2009). An aliquot of 20 μL of sample was added to 120 μL fluorescein solution, to which 60 μL AAPH solution (178 nM) was added, initiating the reaction. Fluorescence intensity was measured kinetically every 1 min (excitation: 285 nm, emission: 520 nm) in a microplate reader (Model Fluorstar Omega, BMG LABTEC, Germany). Finally, a calibration curve was drawn. The antioxidant activity was expressed as μmol equivalents of Trolox /100 g⁻¹.

2.11 Statistical analysis

All assays were performed in triplicate in three independent experiments, and the results were expressed as the mean and standard deviation. The data were analyzed using analysis of variance (ANOVA) and Tukey's test to identify significant differences between means using STATISTIC software version 7.0. Differences between means at the 5% level ($p \leq 0.05$) were considered to be significant.

3. Results and discussion

3.1. Morphological aspects

All juá fruits that were collected exhibited ovoid shapes, as demonstrated by the LD/TD ratio, which varied from 0.72 to 0.88. The results demonstrated significant differences among the sizes of fruits (Figure 1; Table 1). The juá fruits from MP showed the largest TD and LD and the highest weight ($p \leq 0.05$). Juá fruits from SP showed transverse diameters similar to those from MP ($p > 0.05$) but larger than those of AG and BB (Table 1). Notably, the climatic

conditions and distinct regions of occurrence influence the morphological characteristics of the fruits.

3.2. Physicochemical characteristics and nutritional composition

The highest SST was observed for fruit from AG ($p \leq 0.05$), as shown in Table 2; those from MP and SP presented the lowest SST ($p \leq 0.05$).

Based on pH values, juá fruits were classified as non-acidic fruits. Fruits from BB and AG showed lower pH values ($p > 0.05$) compared to SP and MP fruits ($p \leq 0.05$). The pH values of juá fruits were similar to the values described for fruits of the same genera jujuba (*Ziziphus jujuba*), with values of 6.1-6.6 being obtained in other countries (Gao et al., 2011).

The highest total organic acid content was detected in fruits from BB. Succinic acid was the major organic acid detected in juá fruits. However, citric and tartaric acid were quantified as major in the fruits from AG. Formic acid presented a lower content than other acids, and the fruits from BB presented the highest content. As shown in Table 2, juá fruits present an expressive amount of citric acid and succinic acid in relation to other acids quantified. These acids are precursors of the metabolites produced in the metabolic pathway of the Krebs cycle from glucose during the fruit development and maturation stage (Fenemma, 2010), which explains the observed results, since juá is a climacteric fruit (Silva et al., 2017b).

In view of the results found for the juá fruits of the studied mesoregions, juá from AG can be considered the sweetest one presenting low acidity. This relation of sweetness and acidity indicates good palatability.

Fruits from BB and SP presented moisture values above 70% ($p > 0.05$), differing from those collected at MP and AG. This higher moisture is probably related to hydric stress and climatic factors, which directly influence the intrinsic humidity of the fruit (Chitarra & Chitarra, 2005).

This study demonstrates that juá from mesoregions of Paraíba state were different from jujuba (*Z. jujube*) for chemical and nutritional characteristics. For the jujuba, the moisture contents vary in relation to the cultivars. Choi et al.(2012) identified a variation from 78 to 91.9% moisture for jujube of the Korean variety.

The highest amounts of glucose and fructose were detected in fruits from AG. The fruits from MP and SP obtained lower contents of glucose and fructose compared to BB and AG.

Fructose has a relatively superior sweetness to glucose, and the perception of sweetness in juá is probably due to the prevalence of fructose (Gao et al., 2011). The differences found in

the sugars of juá fruits were related to the development of the fruit when sucrose is hydrolyzed in glucose and fructose, leading to slightly higher contents of sugars (Almansa, Hernández, Legua, Nicolás- Almansa, & Amorós, 2016).

High dietary fiber contents were observed in all juá fruits. The fruits from MP presented the highest content of total dietary fiber, and insoluble fibers were the most common forms that were observed. Otherwise, the highest contents of soluble fibers were observed in fruits from BB ($p \leq 0.05$). These values are higher than the fibers reported for jujube, which possess total fiber values ranging from 6.13 to 8.90 g/ 100 g, in which 2.79 to 0.57 g/ 100 g are soluble fibers and 7.18 to 5.24 g/ 100 g are insoluble fibers (Li, Fan, Ding, & Ding, 2007). These results are important because juá fruits native to Caatinga biomes are sources of dietary fiber. Fibers are important dietary ingredients for modulation of satiety, glycemic index, intestinal microbiota and bioavailability of macro- and micronutrients. (Ma et al., 2018). Overall, according to the International Legislation Food Standards (Codex Alimentarius), juá may be described as fruit with high content dietary fiber (FAO,2013).

Fruits from AG and BB showed higher ash contents than those from SP and MP ($p \leq 0.05$). The ash content in fruits varies with different cultivation techniques and soil management approaches (Chitarra & Chitarra, 2005). In the case of juá, it is a native plant resistant to drought, and the composition of minerals in the soil is concentrated due to the low occurrence of rainfall (Atlas, 2011).

The differences found in the content of sugars in fruits of distinct regions were probably influenced by the development of the fruit in the different soil, altitude and demographic regions, temperature, climatic conditions, solar conditions and rainfall incidence. Thus, conditions favorable to fruit maturation may result in higher contents of glucose and fructose, which increase by the degradation of sucrose during this stage (Almansa et al., 2016; Gao et al.,2012).

3.3 Free and conjugated phenolic compounds

Twenty-eight phenolics were investigated by HPLC-DAD, and only eleven compounds were quantified in juá fruits (Table 4). To the best of our knowledge, this study is the first to present the characterization of phenolic compounds in juá fruits. The phenolic profile was similar for fruits collected in the four distinct mesoregions; however, the amount of each compound differed ($p < 0.05$).

The total free phenolic content was predominant in juá fruits from MP, epigallocatechin gallate, catechin, procyanidin B1, caffeic and gallic ($p < 0.05$). In contrast, fruits from AG had the major content of conjugated phenolic compounds, as approximately 95% of the total were flavanols. Catechin, epigallocatechin gallate and procyanidin B1 were major compounds. Studies have reported that dietary fibers can embed phenolic compounds that are able to interact chemically and physically with the food matrix, and the hydrophobic aromatic rings and hydrophilic hydroxyl groups of phenolics can be linked to polysaccharides and proteins on the cell wall (González-Aguilar, Blancas-Benítez, & Sáyago-Ayerdi., 2017; Jakobek & Matic, 2019).

Flavanols were major phenolics in juá fruits, comprising 69-78% of the free phenolic compounds. In conjugated phenolic compounds, flavanols represented 75-92% of the total, mainly epigallocatechin gallate, catechin and procyanidin B1.

The juá fruits from SP and AG presented the highest procyanidin content in the free phenolic compounds ($p \leq 0.05$). These results could be related to the fact that water deficit in the SP and AG mesoregions can lead to an increase in the levels of free phenylalanine, a precursor in procyanidin synthesis, as well as an increase in L-phenylalanine ammonia lyase (PAL) activity and, probably, procyanidin synthesis (Wojdyło, Carbonell-Barrachina, Legua, & Hernández, 2016). An increase in procyanidins was observed in jujube fruits under conditions of water scarcity, as shown by Collado-González et al.,(2013). Another study with fruit of the genus *Ziziphus* also indicated that flavonoid levels increased under harsh growing conditions (Gao et al., 2011).

Flavonols are the second major group of phenolic compounds in juá fruits. Quercetin 3-glucoside was the most abundant flavonol¹. The fruits from BB presented the highest amount of quercetin 3-glucoside, rutin and kaempferol 3-glucoside. Previously, Choi et al. (2012) and Wojdyło et al. (2016) identified quercetin 3-glucoside in jujuba fruits.

Three phenolic acids were identified in jua fruits in the present study: gallic, caffeic and syringic acid. However, the amounts varied with mesoregion and in the free and conjugated phenolic compounds. The amounts of phenolic acids were reduced in the conjugated phenolic compounds. This fact can be explained because juá fruits are hydrolyzed with hydrochloric acid, and phenolic acids are easily oxidized due their chemical structure (Alminger et al., 2014).

The phenolic profile found for juá fruits in the present study was similar to those published for jujuba fruits (*Z. jujube*). However, the content of total phenolics in juá was higher than that observed in jujuba fruits (Gao et al., 2011).

In general, our results demonstrated that geographical growth conditions affect the contents of phenolic compounds in juá fruits from Caatinga. Phenolic compounds and flavonoids are metabolized as plant defense responses, and changes in environmental conditions (e.g., sunshine radiation and temperature variation) strongly influence the levels of these compounds (Reche, et al., 2018; Schulz et al., 2015; Tiwari & Cummins, 2013).

3.4 Effect of gastrointestinal digestion on the bioaccessibility of phenolic compounds

The phenolic compounds recovered after gastrointestinal digestion in the dialyzed fraction (IN), corresponding to the bioaccessible fraction and nondialyzed fraction (OUT), are shown in Table 5. Gastrointestinal digestion affected the amounts of phenolic compounds in juá fruits. The release of phenolic compounds from various juá fruits from distinct regions and among the compounds ($p < 0.05$).

The bioaccessibility of flavanols varied in fruits. Notably, fruits from SP, which had the lowest amount of total and insoluble fibers, showed the highest amount of flavanols, such as catechin, epicatechin, epigallocatechin gallate, and procyanidin B1, differing from the other fruits ($p < 0.05$).

In relation to flavonols, only rutin was bioaccessible in fruits from BB (13.74%) and AG (15.15%).

Syringic acid is the only bioaccessible phenolic acid quantified in the IN fraction of the fruits from MP. Phenolic acids, such as ferulic acid and caffeic acid, appear to have low bioaccessibility (approximately 15%).

These findings suggest that the contents of the highest content fibers in juá fruits may affect the bioaccessibility of phenolics. These compounds can bind to the surfaces of fibers by a surface phenomenon; the fibers create cavities or pores in their structure, and phenolic compounds can penetrate into these pores (Jakobek & Matic, 2019). However, this phenomenon is influenced by the size of phenolics, and molecules larger than pores would be largely excluded (Renard, Watrelot & Le Bourvellec., 2017). Considering the influence of gallate moieties in flavonols on binding to cell wall material (Mamet, Ge, Zhang, & Li, 2018 and Wang, Liu, Chen, & Zhao, 2013), flavonols may have enhanced binding sites to dietary fibers and may thus be less bioaccessible. According to the literature, procyanidins possess elongated structures and increased affinity with pectins due to their large number of contact sites (Mamet et al., 2018).

A previous study reported that in phenolic acids, methylation or methoxylation lowered the adsorption capacities onto soluble fibers (Jakobek & Matic, 2019); consequently, these compounds are mostly present in the free fraction of the phenolic compounds in juá fruits (as shown in Table 4).

Although compounds detected in the non-dialyzed fraction are not available for absorption, since they do not pass through the intestinal barrier, these compounds can be “carried” by fibers and reach the colon, where they might be released by the action of bacteria with specific health benefits (Fogliano et al., 2011; González-Sarrías, Espín, & Tomás-Barberán, 2017; Jakobek, & Matic, 2019). The nondialyzed fraction of juá presented the highest content of phenolic compounds, primarily epigallocatechin gallate (23.22-40.11 mg/ 100 g). In particular, epigallocatechin gallate was present in the highest amounts in the nondialyzed fraction of juá fruits from SP ($p < 0.05$) compared to that obtained from fruits from other mesoregions. This fact can be explained by chemical changes that occur due the rupture of bonds induced by acidic or alkaline environments, releasing flavanols during *in vitro* digestion (Acosta-Estrada; Gutierrez-Uribe, & Serna-Saldivar, 2014).

3.5 Antioxidant activity

Table 6 demonstrates the scavenging capacity of DPPH, peroxy radicals and power reducing iron of the extracts of the dialyzed and nondialyzed fractions of juá fruits obtained in the *in vitro* digestion.

The high antioxidant activity in the extracts of juá was demonstrated in all assays. The antioxidant activity varied among the extracts of juá in the same assay and among the assays. The extracts of juá fruits from MP presented the major activity measured in the three distinct assays, mostly due their highest content of phenolic compounds compared with others ($p < 0.05$). For juá fruits from MP, the antioxidant activity measured in the ORAC assay was higher than that observed in other assays. These results can be explained by the distinct profile and content of phenolics of the juá fruits collected in the different mesoregions (see Table 4). The interaction and ability of an antioxidant to scavenge free radicals (DPPH and ORAC assays) or to transfer one electron to reduce free radicals (FRAP assay) vary among the phenolics, and distinct extracts result in distinct antioxidant ability. The different compounds extracted from juá fruits present distinct types of affinities that involve electrostatic, steric hindrance and polar interactions that can give the different values observed in the systems (Cruz et al., 2019).

The antioxidant activity was reduced after digestion of gastrointestinal compounds in both fractions for all juá fruits assayed. These results are related to the reduction of the amounts of phenolic compounds after digestion and the low bioaccessibility of phenolic compounds. The reduction in antioxidant activity after gastrointestinal digestion is mainly related to the effects of acidic and alkaline pH conditions on the stability of phenolic compounds (Gullon et al., 2015).

The bioaccessible fraction of juá fruits from SP presented the highest antioxidant potential ($p < 0.05$). This result was observed because the major contents were catechin, epicatechin, epigallocatechin gallate and procyanidin B1 compared to juá fruits from other mesoregions, which was mostly associated with the higher availability of hydroxyl groups in flavanols favoring antioxidant activity (Acosta-Estrada; Gutierrez-Uribe & Serna-Saldivar, 2014).

For juá fruits from all studied regions, the antioxidant activity was higher in the nondialyzed fraction, which represents the colon available fraction, than in the bioaccessible fraction (dialyzed fraction). Similar results were reported in a study with persimmon fruit (Lucas-Gonzalez et al., 2018) and pomegranate peel flour (Gullón et al., 2015). The antioxidant activity was higher in the nondialyzed fraction than in the bioaccessible fraction. Most likely, the phenolic compounds present in the nondialyzed fraction, e.g., catechin, epigallocatechin gallate and procyanidin B1, contribute to antioxidant activity.

4. Conclusions

Juá fruits can be considered a source of dietary fibers and flavanols, such as catechin, epicatechin, and procyanidin, which contribute to their high antioxidant activity *in vitro*. In particular, juá fruits from Mata Paraibana presented a highest nutritional composition and free phenolic compounds, which consequently resulted in the highest antioxidant *in vitro*. On the other hand, the juá fruits from Sertão Paraibano showed more bioaccessible phenolic compounds; consequently, its bioaccessible fraction showed the highest antioxidant activity. This report describes a pioneering study of nutritional composition, quantification of phenolic compounds and bioaccessibility and antioxidant activity of the juá fruits from Caatinga, thereby contributing to the scientific knowledge of this species, as well as facilitating sustainable exploitation of these fruits.

Acknowledgments

The authors thank CNPq-Brazil for providing financial support (Project number 447232/2014-2) and CAPES-Brazil for providing a scholarship to the first author. This study was financed in part by the *Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)* – Finance Code 001.

The authors thank Lauro Pires Xavier Herbarium (UFPB) for providing information regarding the species cataloged in Paraíba state.

References

- Atlas. Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010.(2011). *Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Florianópolis*. UFSC, Santa Catarina, 57 (1).
- Acosta-Estrada, B. A., Gutiérrez-Urbe, J. A., & Serna-Saldívar, S. O. (2014) Bound phenolics in foods, review. *Food Chemistry*, 152, 46-55. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.093>.
- Almansa, S., Hernández, F., Legua, P., Nicolás-Almansa, M., & Amorós, A. (2016) Physico-chemical and physiological changes during fruit development and on-tree ripening of two Spanish jujube cultivars (*Ziziphus jujuba* Mill.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 4098–4105. DOI: 10.1002/jsfa.7610.
- Alminger, M., Aura, A. M., Bohn, T., Dufour, C., El, S. N., Gomes, A., & Santos, C. N. (2014) In vitro models for studying secondary plant metabolite digestion and bioaccessibility. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(4), 413–436. DOI: 10.1111/1541-4337.12081.
- AOAC- Association of Official Analytical Chemistry (2016). *Official methods of analysis of the association of official analytical chemists*. (20th ed). Gaithersburg, Maryland.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995) Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT – Food Science and Technology*. 281 (1), 25–30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Brasil. Ministério do meio ambiente. (2017) *Conheça os biomas brasileiros*. Disponível em<<http://www.brasil.gov.br/noticias/meio-ambiente/2009/10/biomas-brasileiros>>
- Cavalcanti. M. T., Silveira, D.C., Florêncio, I. M., Feitosa, V.A., & Eller, S.C.W.S. (2011) Obtenção da farinha do fruto do juazeiro (*ziziphus joazeiro* mart.) e caracterização físico-química. *Verde Mossoró* 6 (1), 220 – 224.
- Chitarra, M. I. F., & Chitarra, A. B. (2005) *Pós colheita de frutos e hortaliças: Fisiologia e manuseio*. (2 ed.), Lavras, Minas Gerais.
- Choi, S. H., Ahn, J. B., Kim, J.-J., Im, N. K., Kozukue, N., & Levin, C. E. (2012) Changes in free amino acids, protein, and flavonoid content in jujube (*Ziziphus jujube*) fruit during eight stages of growth and antioxidative and cancer cell inhibitory effects by extracts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60, 10245–10255. [Dx.doi.org/10.1021/jf200371r](http://dx.doi.org/10.1021/jf200371r)

- Coelho, E. M., Padilha, C.V.S., Miskinis, G. A., Sá, A. G. B., Pereira, G. E., Azevêdo, L. C., & Lima, M. S. (2018). Simultaneous analysis of sugars and organic acids in wine and grape juices by HPLC: Method validation and characterization of products from northeast Brazil. *Journal of Food Composition and Analysis* . 66. 160–167. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.12.017>.
- Collado-González, J., Cruz, Z. N., Rodríguez, P., Galindo, A., Díaz-Baños, F. G., & García De La Torre, J. (2013). Effect of water deficit and domestic storage on the procyanidins profile, size an aggregation process in pear-jujube (*Z. jujuba*) fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61, 6187–6197. DOI:10.1021/jf4013532.
- Cruz, R. G., Beney, L., Gervais, P., Lira, S. P., Vieira, T.M.F.S., & Dupont, S. (2019). Comparison of the antioxidant property of acerola extracts with synthetic antioxidants using na in vivo method with yeasts. *Food Chemistry* 277, 698–705. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.10.099>.
- Dantas, A. M., Mafaldo, I. M., Oliveira, P. M. L., Lima, M. S., Magnani, M., & Borges, G. S. C. (2019). Bioaccessibility of phenolic compounds in native and exotic frozen pulps explored in Brazil using a digestion model coupled with a simulated intestinal barrier. *Food chemistry*, 274, 202-214. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.099>.
- Diniz, V. M. (2016). *Processamento do fruto do juazeiro para obtenção da farinha e do óleo*. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) - Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba.
- Dutra, M. C. P., Rodrigues, L. L., Oliveira, D., Pereira, G. E., & Lima, M. S. (2018). Integrated analyses of phenolic compounds and minerals of Brazilian organic and conventional grape juices and wines: Validation of a method for determination of Cu, Fe and Mn. *Food Chemistry*, 269, 157–165. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.014>
- Dutra, R. L., Dantas, A. M., Marques, D. A., Batista, J. D. F., Meireles, R. L. A., Cordeiro, A. M. T. M., Magnani, M., & Borges, G. S. C. (2017). Bioaccessibility and antioxidant activity of phenolic compounds in frozen pulps of Brazilian exotic fruits exposed to simulated gastrointestinal conditions. *Food Research International*. 100, 650-657. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2017.07.047>.
- FAO - Food and agriculture organization of the United Nations. (2013). Guidelines for use of nutrition and health claims, Codex alimentarius. Recovered. <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/themes/nutrition-labelling/es/#c452837>
- Fennema, O. R., Damodaran, S., & Parkin, K. L. (2010). *Química de Alimentos de Fennema* (4ª ed.) . Editora Artmed.
- Fernandes, M. F., & Queiroz, L. P. (2018). Vegetação e flora da Caatinga . *Ciencia e Cultura*, 70 (4), <http://cienciaecultura.bvs.br/pdf/cic/v70n4/v70n4a14.pdf>.
- Fogliano, V., Corollaro, M. L. Vitaglione, P., Napolitano, A., Ferracane, R., Travaglia, F., Arlorio, M., Costabile, A., Klinder, A. & Gibson, G. (2011). In vitro bioaccessibility and gut biotransformation of polyphenols present in the water-insoluble coco fraction. *Molecular Nutrition Food Research*, 55, 44-55. doi 10.1002/mnfr.201000360

Gao, Q. H., Wu, P. T., Liu, J.R., Wu, C. S., Pary, J. W., & Wang, M. (2011). Physicochemical proper-ties and antioxidant capacity of different jujube (*Ziziphus jujuba Mill.*) cultivars grown in loess plateau of China. *Scientia Horticulturae*, 130, 67–72. doi:10.1016/j.scienta.2011.06.005.

Gao, Q. H., Wu, C. S., Wang, M., Xu, B. N., & Du, L. J. (2012). Effect of Drying of Jujubes (*Ziziphus jujuba Mill.*) on the Contents of Sugars, Organic Acids, α Tocopherol, β Carotene, and Phenolic Compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 60, 9642–9648. dx.doi.org/10.1021/jf3026524.

González-Aguilar, G. A., Blancas-Benítez, F. J., & Sáyago-Ayerdi, S. G. (2017). Polyphenol associated with dietary fibers in plant foods: Molecular interactions and bioaccessibility. *Current Opinion in Food Science*, 13, 84–88. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2017.03.004>.

Gullón, B., Pintado, M. E., Barber, X., Fernández-López, J., Pérez-Álvarez, J. A., & Viuda-Martos, M. (2015). Bioaccessibility, changes in the antioxidant potential and colonic fermentation of date pits and apple bagasse flours obtained from co-products during simulated in vitro gastrointestinal digestion. *Food Research International*, 78, 169–176. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2015.09.056>.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2016). Mapa de Biomassas e de Vegetação. Brasília: IBGE. <https://ww2.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052019biomashtml.shtm>

Jakobek, L., & Matić, P.(2019). Non-covalent dietary fiber - Polyphenol interactions and their influence on polyphenol bioaccessibility. *Trends in Food Science & Technology*, 83, 235-247. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.11.024>.

Li, J. W., Fan, L. P., Ding, S. D., & Ding, X. L. (2007). Nutritional composition of five cultivars of Chi-nese jujube. *Food Chemistry*. 103, 454–460. <https://doi:10.1016/j.foodchem.2006.08.016>.

Liu, D., Martinez-Sanz, M., Lopez-Sanchez, P., Gilbert, E. P., & Gidley, M. J. (2017). Adsorption behavior of polyphenols on cellulose is affected by processing history. *Food Hydrocolloids*, 63, 496–507. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.09.012>.

Lucas-González, R., Viuda-Martos, M., Pérez-Álvarez, J. A., & Fernández-López, J. (2018). Changes in bioaccessibility, polyphenol profile and antioxidant potential of flours obtained from *Food Chemistry*, 72, 67–73. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.128>.

Ma, F., Wang, D., Zhang, Y., Li, M., Qing, W., Tikkanen-Kaukanen, C. Liu, X., & Bell, A. (2018). Characterisation of the mucilage polysaccharides from *Discorea opposita* Thunb. with enzymatic hydrolysis. *Food Chemistry*, 245, 23-21. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.10.080>.

Mamet, T., Ge, Z. Z., Zhang, Y., & Li, C. M. (2018). Interactions between highly galloilated persimmon tannins and pectins. *International Journal of Biological Macromolecules*, 106, 410–417. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2017.08.039.

- Padilha, C. V. S., Miskinis, G. A., Souza, M. E. A. O., Pereira, G. E., Oliveira, D., Bordignon-Luiz, M. T., et al. (2017). Rapid determination of flavonoids and phenolic acids in grape juices and wines by RP-HPLC/DAD: Method validation and characterization of commercial products of the new Brazilian varieties of grape. *Food Chemistry*, 228, 106–115. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.01.137>
- Reche, J., Hernández, F., Almansa, M. S., Carbonell-Barrachina, Á. A., Legua, P., Amorósa, A. (2018). Physicochemical and nutritional composition, volatile profile and antioxidant activity differences in Spanish jujube fruits. *LWT - Food Science and Technology*. 98, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.08.023>.
- Renard, C. M. G. C., Watrelot, A. A., & Le Bourvellec, C. (2017). Interactions between polyphenols and polysaccharides: Mechanisms and consequences in food processing and digestion. *Trends in Food Science & Technology*. 60, 43-51. DOI: 10.1016/j.tifs.2016.10.022.
- Rufino, M. S. M., Alves, R. E., Brito, E. S., Pérez-Jiménes, J., Saura-Calixto, F., & Mancini-Filho, J. (2010). Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. *Food Chemistry*, 121, 996-1002. doi:10.1016/j.foodchem.2010.01.037.
- Rufino, M. S. M., Alves, R. E., Brito, E. S., Morais, S. M., Sampaio, C. G., Pérez-Jiménez, J., & Saura-Calixto, F. D. (2006). Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pelo Método de Redução do Ferro (FRAP). *Comunicado técnico on-line* ISSN 1679-6535.
- Rufino, M. S. M., Fernandes, F. A. N., Alves, R. E., & Brito, E. S. (2009). Free radical-scavenging behaviour of some north-east Brazilian fruits in a DPPH₁ system. *Food Chemistry*. 114(2), 693-695. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.098>.
- Ross, K. A., Beta, T., & Arntfield, S. D. (2009). A comparative study on the phenolic acids identified and quantified in dry beans using HPLC as affected by different extraction and hydrolysis methods. *Food Chemistry*, 113, 336–344. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.07.064>.
- Santos, G. C. S., Freire, A. S. M., Santos, J. R. M., & Vieira, F.A. Padrão de distribuição espacial em uma população natural de juazeiro. In: *I congresso internacional da diversidade do semiárido*. Campina Grande- PB Anais I. (1), 2016.
- Schulz, M., Borges, G. D. S. C., Gonzaga, L. V., Seraglio, S. K. T., Olivo, I. S., Azevedo, M.S., & Fett, R. (2015). Chemical composition, bioactive compounds and antioxidant capacity of juçara fruit (*Euterpe edulis* Martius) during ripening. *Food Research International*, 77, 125–131. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2015.08.006>.
- Silva, J. B. (2014). *Caracterização físico-química e química do fruto do juazeiro (Ziziphus joazeiro Mart) e avaliação da sua conservação por fermentação láctica*. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- Silva, J. B., Moura, M. F. V., Costa, T. R. S., Araújo, N. G., & Barbosa, I. M. (2017) Caracterização físico-química e composição centesimal e mineral do fruto do juazeiro (*Ziziphus joazeiro mart.*). *Enciclopédia biosfera*, 14(25), 291. DOI: 10.18677/EnciBio_2017A27.

- Silva, J. L., Costa, F. B., Nascimento, A. M., Costa, R. T. R., Sousa, F. F., & Santos, K. P. (2017) Atributos físicos do fruto de juazeiro (*Zizyphus joazeiro mart.*) Armazenado à temperatura ambiente. *Arq. Bras. Alim.*, 2 (3), 197-209. <http://www.journals.ufrpe.br/index.php/ABA>.
- Silva, L. R., Barreto, N. D. S., Batista, P. F., Araujo, F. A. R., & Morais, P. L. D. (2011). Caracterização de frutos de cinco acessos de juazeiro (*Zizyphus joazeiro mart.*). *Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, 13 (1), 15-20. ISSN 1517-8595.
- Sousa, F. C., Silva, L. M. M., Castro, D. S., Nunes, J. S., & Sousa, E. P. (2013). Propriedades Físicas e Físico-Químicas da Polpa de Juazeiro. *Verde Mossoró*, 8(2), 68 – 71. ISSN 1981-8203.
- Tiwari, U., & Cummins, E. (2013). Factors in fluencing levels of phytochemicals in selected fruit and vegetables during pre- and post-harvest food processing operations. *Food Research International*, 50 (3), 497-506. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.09.007>.
- Wang, Y., Liu, J., Chen, F., & Zhao, G. (2013). Effects of molecular structure of poly-phenols on their noncovalent interactions with oat β -glucan. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61, 4533–4538. DOI: 10.1021/jf400471u.
- Wojdyło, A., Carbonell-Barrachina, A. A., Legua, P., & Hernández, F. (2016). Phenolic composition, ascorbic acid content, and antioxidant capacity of Spanish jujube (*Zizyphus jujuba Mill.*) fruits. *Food Chemistry*, 201, 307–314. DOI:10.1016/j.foodchem.2016.01.090.
- Zulueta, A., Esteve, M. J., & Frígola, A. (2009). ORAC and TEAC assays comparison to measure the antioxidant capacity of food products. *Food Chemistry*. 114(1), 310–316. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.033>.

Table 1- Morphologic characteristics of juá fruit

	MP	AG	BB	SP
Transversal diameter (mm)	21.76 ± 1.81 ^a	19.63 ± 3.16 ^b	15.61 ± 0.76 ^c	21.60 ± 2.13 ^a
Longitudinal diameter (mm)	16.85 ± 0.96 ^a	15.11 ± 0.91 ^b	13.82 ± 0.99 ^c	15.47 ± 0.74 ^b
Relation LD/TD	0.77 ± 0.05 ^b	0.78 ± 0.09 ^b	0.88 ± 0.06 ^a	0.72 ± 0.06 ^c
Weight (g)	4.78 ± 0.63 ^a	2.78 ± 0.83 ^c	2.09 ± 0.24 ^d	4.21 ± 0.48 ^b

*MP (Mata Paraibana); AG (Agreste paraibano); BB (Borborema); SP (Sertão Paraibano). * Relation in between longitudinal diameter (LD) and transversal diameter (TD). **Different letters for fruits juá different regions of the Paraiba show statistical difference when compared to morphologic characteristics ($p \leq 0.05$)

Table 2 - Physico-chemical parameters and organic acid content of juá fruit

	MP	AG	BB	SP
Soluble solids (brix°)	2.26 ± 0.25 ^c	7.53 ± 0.31 ^a	5.66 ± 0.45 ^b	2.76 ± 0.49 ^c
pH	6.98 ± 0.06 ^a	6.23 ± 0.02 ^c	6.12 ± 0.06 ^c	6.42 ± 0.06 ^b
Citric acid (mg/100g)	43.42 ± 1.00 ^d	60.40 ± 0.90 ^a	58.75 ± 0.77 ^b	54.54 ± 0.63 ^c
Tartaric acid	34.39 ± 0.51 ^d	54.06 ± 0.88 ^a	38.26 ± 0.79 ^b	36.95 ± 0.70 ^c
Succinic acid	58.92 ± 0.81 ^c	69.69 ± 0.65 ^b	97.23 ± 0.79 ^a	44.42 ± 0.70 ^d
Formic acid	20.07 ± 0.83 ^b	22.35 ± 1.01 ^b	37.35 ± 0.54 ^a	3.52 ± 0.55 ^c
Total organic acid	156.80	206.50	231.59	139.43

*MP (Mata Paraibana); AG (Agreste paraibano); BB (Borborema); SP (Sertão Paraibano). ND-Not detected

** Values expressed in mg/100g fresh weight. Different letters for fruits juá different regions of the Paraíba showed statistical difference when compared to physico-chemical parameters and organic acid content ($p \leq 0.05$)

Table 3 - Nutritional composition of juá fruit

	MP	AG	BB	SP
Moisture (g/100g)	69.35 ± 0.12 ^b	65.33 ± 0.21 ^c	72.62 ± 0.01 ^a	72.53 ± 0.13 ^a
Sugars (mg/100g)				
Glucose	2.57 ± 0.32 ^b	2.77 ± 0.37 ^a	2.72 ± 0.27 ^a	2.43 ± 0.40 ^c
Fructose	2.79 ± 0.19 ^c	3.46 ± 0.42 ^a	3.20 ± 0.56 ^b	2.41 ± 0.42 ^d
Protein (g/100g)	1.28 ± 0.12 ^b	1.68 ± 0.13 ^a	1.52 ± 0.09 ^{ab}	1.61 ± 0.08 ^a
Lipids (g/100g)	0.22 ± 0.02 ^a	0.17 ± 0.02 ^{ab}	0.08 ± 0.07 ^b	0.08 ± 0.05 ^b
Insoluble fiber (g/100g)	8.02 ± 1.56 ^a	6.64 ± 0.50 ^b	6.76 ± 1.71 ^b	5.72 ± 0.49 ^c
Soluble fiber (g/100g)	2.80 ± 5.19 ^c	3.31 ± 5.00 ^b	4.00 ± 2.53 ^a	3.25 ± 2.75 ^b
Total fiber (g/100g)	10.81	10.00	10.76	8.98
Ash (g/100g)	1.02 ± 0.06 ^c	1.34 ± 0.34 ^a	1.31 ± 0.01 ^a	1.20 ± 0.05 ^b

*MP (Mata Paraibana); AG (Agreste paraibano); BB (Borborema); SP (Sertão Paraibano).

** Values expressed in g/100g fresh weight. Different letters for fruits juá different regions of the Paraíba showed statistical difference when compared to nutritional composition ($p \leq 0.05$)

Table 4 - Phenolic compounds of juá from different regions

Compounds	Phenolic Free				Phenolic Conjugates			
	MP	AG	BB	SP	MP	AG	BB	SP
Flavanols								
Catechin	4.97±0.10 ^a	0.90±0.07 ^d	3.17± 0.07 ^b	2.71±0.03 ^c	1.78±0.06 ^d	12.76±0.21 ^a	2.49±0.02 ^c	2.90±0.02 ^b
Epicatechin	ND	ND	ND	0.11±0.02	ND	0.07±0.01 ^b	ND	0.13±0.03 ^a
Epicatechin gallate	ND	ND	ND	ND	0.28±0.02 ^b	0.35±0.01 ^a	0.22±0.01 ^c	ND
Epigallocatechin gallate	12.04±0.01 ^a	2.26±0.01 ^d	5.38±0.29 ^c	10.78±0.30 ^b	7.87±0.01 ^b	5.77±0.03 ^c	4.48±0.00 ^d	8.22±0.01 ^a
Procyanidin B1	3.28±0.40 ^a	0.28±0.01 ^d	1.51±0.17 ^b	0.57±0.06 ^c	0.24±0.01 ^c	5.48±0.18 ^b	1.20±0.06 ^c	6.70±0.17 ^a
Flavonols								
Quercetin 3-glucoside	0.54±0.06 ^b	ND	0.72±0.11 ^a	0.41±0.06 ^c	0.28±0.00 ^{bc}	0.31±0.05 ^b	0.48±0.05 ^a	0.22±0.07 ^c
Rutin	ND	ND	0.14±0.00 ^a	ND	0.05±0.00 ^b	0.10±0.00 ^a	0.09±0.00 ^a	ND
Kaempferol glucoside	0.22±0.09 ^b	0.10±0.06 ^c	0.33±0.03 ^a	0.30±0.04 ^b	0.15±0.08 ^d	0.46 ± 0.09 ^a	0.37±0.02 ^b	0.23±0.09 ^c
Phenolic acid								
Gallic	1.88±0.06 ^b	ND	2.10±0.35 ^a	1.40±0.03 ^c	ND	ND	ND	ND
Caffeic	1.34±0.06 ^a	1.04±0.01 ^c	0.62±0.06 ^d	1.21±0.05 ^b	ND	0.68±0.05 ^a	0.50±0.05 ^b	0.15±0.06 ^c
Syringic	ND	ND	ND	0.29± 0.09	ND	ND	ND	0.26±0.01
Total Phenolic	24.27	4.58	14.00	17.90	10.65	26.00	9.83	18.81

* Values expressed in mg/100g dry weight. *MP (Mata Paraibana); AG (Agreste paraibano); BB (Borborema); SP (Sertão Paraibano). ND-Not detected; Different letters for fruits juá different regions of the Paraíba show statistical difference when compared to the content of phenolic compound free and conjugates ($p \leq 0.05$)

Table 5 - Phenolic compounds in juá after *in vitro* gastrointestinal digestion.

	Dialysed fraction.				Non-dialysed fraction				% Bioacessibilidade			
	MP	AG	BB	SP	MP	AG	BB	SP	MP	AG	BB	SP
Phenolic compounds												
Flavanols												
Catechin	0.43±0.0 ^c	1.06±0.01 ^b	1.35±0.07 ^a	1.27±0.01 ^a	4.21±0.60 ^d	5.15±0.55 ^c	9.50 ± 0.50 ^a	7.21 ± 0.36 ^b	9.22	17.00	12.48	14.97
Epicatechin	0.11±0.00 ^b	ND	0.04±0.01 ^c	0.27±0.02 ^a	0.34±0.06 ^b	ND	ND	0.76 ± 0.03 ^a	25.21	ND	ND	26.00
Epicatechin gallate	0.48±0.01 ^a	ND	0.36±0.02 ^b	ND	1.53±0.02	ND	ND	ND	23.88	ND	ND	ND
Epigallocatechin gallate	6.70±0.28 ^b	4.11±0.05 ^c	4.11±0.08 ^c	7.23±0.45 ^a	23.22±0.02 ^c	17.59±0.66 ^d	27.76±0.79 ^b	40.11 ± 0.13 ^a	22.40	18.94	12.90	15.27
Procyanidin B1	0.15±0.00 ^b	0.06±0.01 ^c	0.13± 0.01 ^b	0.31±0.03 ^a	0.88 ± 0.11 ^{bc}	0.56±0.06 ^c	1.07 ± 0.33 ^b	2.10 ± 0.41 ^a	14.68	9.71	10.87	12.81
Flavonols												
Quercetin 3- glucoside	0.06±0.00 ^b	0.02±0.01 ^c	0.09± 0.03 ^a	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Rutin	0.03±0.00 ^c	0.05±0.00 ^b	0.07±0.00 ^a	0.04 ± 0.01 ^c	ND	0.33±0.10 ^a	0.44± 0.15 ^a	ND	ND	15.15	13.74	ND
Kaempferol glucoside	0.04±0.00 ^b	ND	0.07±0.00 ^a	0.08± 0.01 ^a	ND	ND	3.72 ± 0.23	ND	ND	ND	1.90	ND
Phenolic acid												
Gallic	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Caffeic	ND	0.58±0.03	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Syringic	0.10±0.01 ^b	ND	ND	0.19±0.00 ^a	0.07 ± 0.47 ^c	ND	ND	ND	57.29	ND	ND	ND
Total Phenolic	8.10	5.90	6.22	9.40	30.25	23.63	42.49	50.20				

*Values expressed in mg/100g dry weight. *MP (Mata Paraibana); AG (Agreste paraibano); BB (Borborema); SP (Sertão Paraibano). ND-Not detected; IN: dialysed fraction. OUT:non-dialysed fraction. Different letters for the phenolic compounds showed statistical difference the amounts when compared to the juá different regions ($p \leq 0.05$)

Table 6 - Antioxidant activity of juá dialyzed and non-dialyzed and in vitro gastrointestinal digestion fractions

	Fruit				Dialyzed fraction				Non-dialyzed fraction			
	MP	AG	BB	SP	MP	AG	BB	SP	MP	AG	BB	SP
Frap*	2932.47±0.02 ^a	751.15±0.01 _b	2055.47±0.00 _a	873.41±0.03 ^b	16.84±0.00 ^c	43.43±0.01 ^b	17.73±0.02 ^c	54.49±0.02 ^a	530.86±0.11 _a	514.18±0.03 ^a	68.01±0.05 ^c	332.93±0.00 ^b
Dpph*	1882.95±0.02 ^a	681.67±0.04 _c	1289.82±0.00 _{ab}	1096.16±0.00 _b	8.10±0.00 ^b	8.11±0.00 ^b	6.01±0.01 ^b	13.42±0.02 ^a	321.53±0.02 _b	343.80±0.01 ^b	546.19±0.01 ^a	216.71±0.01 ^c
Orac*	13480.55±5.5 _{4^a}	1606.61±3.8 _{9^c}	2575.97±8.55 _b	2677.37±4.53 _b	107.55±3.70 _c	127.35±1.95 _b	96.95±1.11 ^d	135.06±1.23 ^a	1291.91±7.5 _{6^a}	1228.19±2.05 _a	733.32±0.34 ^c	974.36±0.47 ^b

* Values expressed in $\mu\text{mol TEAC } 100\text{g}^{-1}$ dry weight. MP (Mata Paraibana); AG (Agreste paraibano); BB (Borborema); SP (Sertão Paraibano). Different letters for juá dialyzed fraction and non-dialyzed fraction of the different regions showed statistical difference when compared to antioxidant activity ($p \leq 0.05$)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As características morfológica, físico-química e nutricionais mostram que há diferenças entre os juás de cada mesorregião da Paraíba confirmando que os fatores edafoclimáticos influenciam diretamente na composição química do fruto. Destaque para região da Mata Paraíba que obteve valores relevantes no tamanho do fruto e conteúdo de fibras bem como os compostos fenólicos livres. O fruto tem um potencial para o seu consumo *in natura*, além da cultura *Ziziphus joazeiro* Mart possuir uma alta resistência a condições áridas que facilmente se adapta as condições climáticas sugerindo o seu cultivo para melhor reconhecimento da espécie pela população.

O estudo da bioacessibilidade foi crucial para verificar a interação do juá com as condições gastrointestinais, observando variação na estabilidade dos compostos fenólicos presentes inicialmente no fruto e os que apresentaram estar bioacessíveis. Os flavanóis foram os majoritários presentes no fruto *in natura* assim como nas frações dialisadas (IN) e não dialisadas (OUT).

A identificação do perfil fenólico dos juás, atividade antioxidante e bioacessibilidade são estudos pioneiros no fruto e que contribui para um conhecimento científico da espécie, com alto valor agregado. A fim de desmistificar que o consumo do juá ainda pouco explorado comercialmente, só adequa-se para alimentação animal, possibilitando assim a valorização do fruto como alternativa na alimentação humana e possíveis aplicações industriais das frutas nativas do semiárido paraibano.